ISSN 0181-1568

# CRYPTOGAMIE

## ALGOLOGIE

TOME 12 Fascicule 1 1991



LABORATOIRE DE CRYPTOGAMIE
MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
12, RUE BUFFON, 75005 PARIS




PUBLICATION TRIMESTRIELLE

Février 1991

## MANUSCRITS

Les recommandations aux auteurs sont publiées dans le premier fascicule de chaque tome. Les auteurs sont priés d'adresser leurs manuscrits (en trois exemplaires) au Directeur-Rédacteur de *Cryptogamie, Algologie*, Laboratoire de Cryptogamie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 12 rue Buffon, 75005 Paris.

Les tirages à part et les illustrations sont à la charge des auteurs.

## ABONNEMENTS ANNUELS
**Tome 12, 1991**

CRYPTOGAMIE comprend trois Sections:
Algologie, Bryologie-Lichénologie, Mycologie.

Abonnement à l'une ou l'autre Section pour 1991:
France ........................................ (326 F ht) 332,85 F ttc
Étranger ........................................................ 357,00 F

Abonnement aux 3 Sections pour 1991:
France ........................................ (918 F ht) 937,28 F ttc
Étranger ........................................................ 1000,00 F

Prière de bien vouloir envoyer le montant par chèque bancaire ou par chèque postal libellé à l'ordre de : A.D.A.C. - CRYPTOGAMIE (CCP La Source 34 764 05 S), et adressé à:

A.D.A.C. - CRYPTOGAMIE
12, rue Buffon, F-75005 Paris.

*Cryptogamie, Algologie* est indexé par *Aquatic Sciences Fisheries Abstracts Part 1, Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Current Contents, Marine Science Contents Tables (F.A.O.)*, Publications bibliographiques du CDST (Pascal).

# CRYPTOGAMIE
## ALGOLOGIE

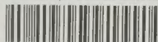
**TOME 12 Fascicule 1 1991**

Anciennement REVUE ALGOLOGIQUE
Fondée en 1922 par P. ALLORGE et G. HAMEL
Directeur-Rédacteur : P. BOURRELLY
Éditeur : A.D.A.C.

## SOMMAIRE





**CRYPTOGAMIE, ALGOLOGIE**
**Tome 12 Fascicule 1 1991**

## CONTENTS

# LE COMPLEXE "*DINOPHYSIS ACUMINATA*": IDENTIFICATION DES ESPÈCES LE LONG DES CÔTES FRANÇAISES

P. LASSUS et M. BARDOUIL

Institut Français de Recherche pour l'Exploitation
de la Mer, rue de l'Ile d'Yeu, B.P. n° 1049,
44037 Nantes Cedex 01.

RÉSUMÉ - A partir d'échantillons d'eau prélevés entre 1984 et 1989 en 12 sites des côtes françaises, une étude morphométrique a été réalisée sur le genre *Dinophysis* restreint aux espèces du type *"acuminata"*. Des critères morphologiques simples sont indiqués qui permettent de distinguer quatre espèces dominantes lors des épisodes toxiques observés en zone conchylicole (Diarrheic Shellfish Poisoning = DSP): *Dinophysis cf. sacculus, D. cf. acuminata, Dinophysis sp.* et *D. cf. norvegica.* Cette dernière espèce ne peut être assimilée au "complexe *acuminata*" et se manifeste épisodiquement sur le littoral sud breton. En attendant une diagnose plus précise, il est recommandé d'évaluer la relation entre la nature des toxines produites et chacune des espèces décrites.

ABSTRACT - From seawater samples collected between 1984 and 1989 in 12 French coastal areas, a morphometric study have been realised on *Dinophysis* genera restricted to " *acuminata* " like species. Simple morphological criterias are given as suitable for discrimination of four dominant species occurring during toxic episodes in shellfish farms (Diarrheic Shellfish Poisoning): *Dinophysis cf. sacculus, D. cf. acuminata, Dinophysis sp.* and *D. cf. norvegica.* This last species cannot be included in the " *acuminata* complex" and produces temporary blooms along southern Brittany coasts. Pending a more precise diagnosis it is recommended to clarify the relationship between toxin composition and each species previously described.

MOTS CLÉS : *Dinophysis*, côtes françaises, taxonomie, distribution.

## INTRODUCTION

Le genre *Dinophysis* Ehrenberg occupe une place à part parmi les dinoflagellés marins. L'épithèque réduite ou absente a permis de le séparer du genre *Phalacroma* pendant quelques temps, puis les deux genres ont été confondus (Abé, 1967; Balech, 1971, 1976; Schnepf & Elbrachter, 1988) et à nouveau séparés sur la base non plus de critères morphologiques mais sur la présence de chloroplastes à 2 ou 3 thylakoïdes (Hallegraeff & Lucas, 1988). En fait, il est vrai que plusieurs espèces sont typiquement photosynthétiques alors que d'autres, dépourvues de pigments, ont très probablement un com-

portement hétérotrophe. Cependant, aucun critère morphologique ou cytologique ne permet aujourd'hui d'expliquer de quelle façon ce genre est lié à la production de toxines diarrhéiques (Yasumoto *et al.*, 1980; Kat, 1985; Fraga & Sanchez, 1985, Lassus *et al.*, 1988; Dahl & Yndestadt, 1985). Plusieurs espèces étant généralement associées aux épisodes toxiques (*D. acuta* Ehrenberg, *D. acuminata* Claparède et Lachmann, *D. norvegica* Claparède et Lachmann en Scandinavie, Espagne et Irlande; *D. sacculus* Stein, *D. acuminata* en France et au Portugal) il est devenu de plus en plus nécessaire de préciser la distribution littorale de ces espèces, en particulier dans le cadre des réseaux de surveillance phytoplanctonique dont la gestion informatisée s'accomode mal de diagnoses vagues ou incomplètes.

De fait, les espèces aisément identifiables telles que *D. tripos* Gourret, *D. rotundata* Claparède et Lachmann, *D. caudata* Saville - Kent et *D. acuta* posent peu de problèmes aux phytoplanctonologistes ayant la charge des observations mensuelles de la qualité de l'eau en zone conchylicole. En revanche, plusieurs espèces avec une longueur totale comprise entre 45 et 55 $\mu$m, une convexité de la suture dorsale plus ou moins marquée et la plus grande largeur alignée sur l'épicentre de la cellule, sont toutes proches, ou tout au moins difficiles à distinguer de *D. acuminata* telle qu'elle fut décrite en 1858 par Claparède et Lachmann: "bord ventral beaucoup moins bombé que le bord dorsal, moitié antérieure arrondie à son sommet et munie d'une dent ..., moitié postérieure rudimentaire et beaucoup plus étroite que les autres espèces ... longueur: 44$\mu$m". Par la suite, des descriptions plus précises, agrémentées de microphotographies électroniques ces dix dernières années, furent données par Stein (1883), Paulsen (1908, 1949), Jorgensen (1924), Lebour (1925), Tai & Skogsberg (1934), Solum (1962), Abé (1967), Drebes (1974), Balech (1976), Fukuyo (1981), Burns & Mitchell (1982), pour ne citer que les principaux. Ces différents auteurs ont insisté sur les variations morphologiques intraspécifiques importantes propres à cette espèce. Des "variétés" sont censées rendre compte de ces observations: var. *acuminata*, var. *lachmanni* (Balech, 1988) *f. D. borealis* (Balech, 1976), mais la tabulation des plaques sulcales, excepté chez Balech, est rarement utilisée comme critère distinctif.

La plupart des auteurs se réfèrent à des études de biométrie, comme Solum (1962) qui distingue *D. acuminata* et *D. lachmanni* Paulsen mais confond plus ou moins *D. lachmanni* et *D. borealis* Paulsen. Dans la mesure où les premières mentions d'efflorescences toxiques de *Dinophysis* sur les côtes françaises (Lassus *et al.*, 1985) se réfèrent à *D. acuminata* en Bretagne sud et Normandie, mais que des observations ultérieures (Lassus *et al.*, 1988) distinguent *D. cf. acuminata, D. sacculus* et *Dinophysis spp.* selon les régions, une mise au point nous a paru nécessaire.

Déjà, en 1986, Lassus et Bardouil avaient essayé de comparer la morphologie de différents échantillons comportant des "petites formes" de *Dinophysis*. La consultation de travaux sur le phytoplancton côtier entre 1923 et 1982 révélait une certaine pauvreté spécifique (*D. acuminata* en Manche et Atlantique, *D. sacculus* en Méditerranée) tandis que les examens pratiqués aimablement par le Dr E. Balech montraient au contraire la prédominance de *D. sacculus* sur les côtes sud bretonnes pendant les

efflorescences estivales. Les résultats présentés ici concernent donc une étude biométrique sur un nombre beaucoup plus grand d'échantillons, couvrant une bonne partie des côtes françaises.

## MÉTHODES

A partir de 18 échantillons d'eau fixés au formol neutre et récoltés entre 1984 et 1989 sur 13 sites différents (Normandie, Bretagne sud, Charente Maritime, Golfe du Lion) des observations ont été réalisées au microscope inversé (M 35 Zeiss) couplé avec une caméra vidéo et un moniteur Koyo. Environ 113 dessins ont été exécutés au même grossissement (x 1000) et les critères morphologiques suivants ont été mesurés: longueur totale (LT), plus grande largeur (l), longueur de l'ailette sulcale gauche (ls), ou notés: convexité de la suture dorsale, concavité de la suture ventrale postérieure, contour antapical anguleux, dents postérieures, dimension et direction de l'épine $R_3$ de l'ailette sulcale gauche.

## RÉSULTATS

Quatre espèces de *Dinophysis*, dont trois incluses dans le "complexe *acuminata* " ont pu être définies. Elles ont en commun une variabilité morphologique assez importante, une plus grande largeur (l) coïncidant généralement avec le centre de la cellule, et une longueur totale comprise entre 50 et 62$\mu$m. A l'exception de *D. cf. acuminata*, qui présente une fine porosité valvaire, les trois autres espèces ont des pores très ouverts.

### *Dinophysis cf. sacculus* (fig. 1 a-d, fig. 2 a)

Cette espèce se distingue des trois autres par l'observation chez tous les individus d'une suture dorsale légèrement concave et les critères biométriques suivants: LT = 53 $\pm$ 3, l = 31 $\pm$ 2, ls = 32 $\pm$ 3$\mu$m (n=37). On la trouve en baie de Vilaine, en baie de Douarnenez et au large de la Bretagne sud, de mai à août. Cette espèce est également présente en Méditerranée (Gruissan) mais ne doit pas être confondue avec *D. pavillardi* = *D. reniformis*, à la suture dorsale très nettement concave (forme de haricot) identifiée par E. Balech à partir d'échantillons de l'Anse de Carteau prélevés en 1985. *D. cf. sacculus* peut être présent sur la côte normande et à Antifer pendant des efflorescences de *Dinophysis* mais il est peu représenté par rapport à *D. cf. acuminata*. Des protubérances postérieures sont souvent présentes et la largeur de l'ailette cingulaire supérieure est souvent égale ou voisine de la largeur de la cellule. L'épine $R_3$ peut être indifféremment égale ou plus longue que les deux autres, droite ou dirigée postérieurement. Ailette sulcale gauche = 0,60 LT.

Il nous semble difficile d'assimiler complètement cette espèce à *D. sacculus* telle qu'elle a été décrite par Stein (1883), en revanche la description de Jorgensen (1924), avec une suture ventrale postérieure légèrement concave, correspondrait davantage à certains de nos échantillons. Cet auteur la

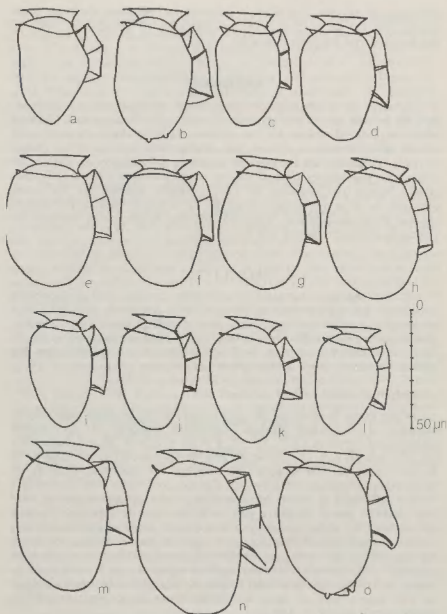



Fig. 1 - *Dinophysis cf. sacculus*, a: Douarnenez, juin 1986; b: Ibid.; c: baie de Vilaine, juillet 1984; d: Gruissan, septembre 1987. - *Dinophysis cf. acuminata*, e: baie de Vilaine, mai 1985; f: Quiberon; 1985; g: Cabourg, 1985; h: Antifer, juillet 1985. - *Dinophysis sp.*; i: Ile de Ré, juin 1988; j: Ibid.; k: baie de Vilaine, juin 1988; l: Douarnenez, juin 1988. - *Dinophysis cf. norvegica*, m: baie de Vilaine, mai 1987, n: Ibid.; o: Groix, mai 1989.

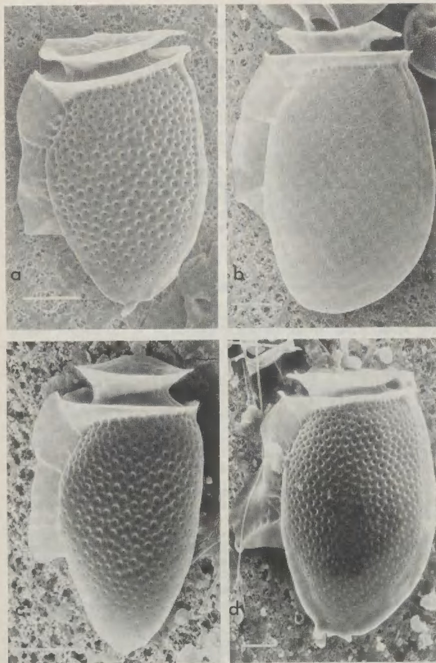



Fig. 2 - Microscopie électronique à balayage. a: *Dinophysis cf. sacculus*, Bretagne sud, 1986. - b: *Dinophysis cf. acuminata*, Le Havre, 1986. - c: *Dinophysis sp.*, Gruissan 1987. - d: *Dinophysis cf. norvegica*, baie de Vilaine, mai 1987; barre blanche = 10μm.

décrit comme une espèce néritique variable et cite Pavillard (1905) qui la mentionne comme présente toute l'année dans le golfe du Lion.

Les représentations de Pavillard laissent néanmoins supposer que cet auteur a décrit sous un même taxon deux espèces différentes: *D. sacculus* et *D. reniformis*.

***Dinophysis cf. acuminata* (fig. 1 e-h, fig. 2 b)**

Cette espèce est décrite par Balech (comm. pers.) comme ayant des affinités avec *D. acuminata* mais sans que l'on puisse réellement confondre ces deux taxons. La possibilité d'une espèce nouvelle est même avancée par notre collègue argentin. En fait, nous nous référerons principalement aux échantillons de Cabourg et Antifer pour décrire cette espèce un peu plus grande: LT = 56 $\pm$ 2, l = 35 $\pm$ 3; ls = 31 $\pm$ 3$\mu$m, (n = 42), qui possède une suture dorsale convexe, à nettement convexe, de même que la suture ventrale postérieure.

La partie antapicale est plus souvent arrondie, porteuse ou non de protubérances. Certains échantillons (Quiberon et Antifer, 1985) montrent une ailette cingulaire supérieure nettement plus étroite que la largeur de la cellule, alors que les autres individus observés ont un cingulum identique à celui décrit pour *D. cf. sacculus*. L'épine $R_3$ est généralement plus longue que $R_1$, $R_2$ et elle est orientée postérieurement. ls = 0,55 LT. Par rapport aux analyses biométriques avancées par d'autres auteurs (Abé, 1967; Balech, 1976, 1988; Burns & Mitchel, 1982; Solum, 1962) la LT moyenne de nos échantillons est nettement supérieure à ce qui est donné habituellement pour *D. acuminata* (39-53$\mu$m) confirmant ainsi l'hypothèse d'une espèce différente non décrite jusqu'ici. *D. cf.acuminata* est généralement dominant pendant le maximum saisonnier (juillet-août) des côtes normandes; il est présent sur les côtes charentaises et sud bretonne et peut être relativement abondant en concurrence avec *D. sacculus*.

***Dinophysis sp.* (fig. 1 i-l, fig. 2 c)**

Cette espèce nous semble suffisamment bien représentée sur les côtes françaises et en particulier en Bretagne sud, pour être mentionnée ici. Présente pendant les efflorescences à *Dinophysis* elle est à inclure dans le "complexe *acuminata*" ne serait-ce que parce que ses dimensions la rapprochent davantage de l'espèce *D. acuminata* décrite dans la littérature. Cependant, plusieurs caractères la singularisent, en particulier une suture dorsale peu convexe à droite, un contour antapical souvent anguleux, souvent renforcé par une suture ventrale postérieure concave, une largeur moyenne nettement inférieure aux autres espèces décrites. Les données biométriques sont: LT: 50 $\pm$ 4,l = 28 $\pm$ 2, ls = 31 $\pm$ 3$\mu$m, avec ls = 0,62 LT et n = 18. Lorsque les efflorescences de *Dinophysis* atteignent $10^4$ cellules $l^{-1}$, on rencontre assez souvent (côtes normandes et sud bretonnes) une petite espèce (LT = 32-38$\mu$m) identifiée comme *D. skagi* Paulsen. Solum (1962) cite également cette espèce sur les côtes norvégiennes mais comme étant peu représentée. En aucun cas on ne peut la confondre avec l'espèce décrite ici,

cette dernière étant par contre proche des cellules décrites par Solum comme *D. lachmanni*.

***Dinophysis cf. norvegica* (fig. 1 m-o, fig. 2 d)**

Cette espèce est peu représentée dans les échantillons, excepté en mai 1987 en baie de Vilaine, où elle était dominante. Il s'agit d'un *Dinophysis* de grande taille (LT = 62 ± 3, l = 38 ± 3, ls = 37 ± 4µm, n = 16) dont la plus grande largeur est le plus souvent au même niveau ou légèrement sous l'épicentre de la cellule. Si la LT est en accord avec les données de la littérature sur *D. norvegica*, il semble en revanche que le contour antapical très arrondi soit complètement différent de celui décrit comme "formant un angle de 90°" par Solum. L'épine $R_3$ de l'ailette sulcale gauche est nettement orientée postérieurement. Le dinoflagellé que nous décrivons ici, à défaut d'un taxon plus approprié, correspond bien à l'analyse morphologique qu'en a fait Balech (com. pers.), aucune description de la littérature ne s'adaptant de façon satisfaisante à cette espèce.

## DISCUSSION

Cette étude morphométrique nous a permis d'identifier quatre types morphologiques dont trois au moins peuvent être assimilés à *D. acuminata* si l'on s'en tient à une diagnose rapide. Ces quatre espèces ne peuvent, en tout état de cause, être référencées sous un taxon précis compte tenu des différences existant avec les éléments de diagnose se rapportant aux espèces *D. acuminata*, *D. lachmanni*, *D. sacculus* et *D. norvegica*. Cependant nous désirons attirer l'attention sur un certain nombre de points:

1- Toutes les espèces décrites ici peuvent être relativement abondantes à très abondantes lors d'efflorescences toxiques de *Dinophysis* en Normandie, Bretagne sud, Charente et Méditerranée. Elles représentent en fait, surtout *D. cf. sacculus*, *D. cf. acuminata* et *Dinophysis sp.*, les espèces de *Dinophysis* les plus représentées quantitativement sur les côtes françaises. Leur importance sur le plan épidémiologique vis-à-vis de la contamination DSP[1] des coquillages est donc évidente.

2- Bien que le détail des plaques sulcales n'ait pas été étudié ici, il semble que ce critère ne soit pas aussi déterminant pour le "complexe *acuminata*" que les études morphométriques. La convexité dorsale peut même être un élément important pour la discrimination par analyse d'image entre *D. acuminata* et *D. fortii* (Ishizuka *et al.*, 1986). De plus, nous nous sommes orientés vers des critères simples, pouvant être utilisés par des observateurs impliqués dans les réseaux de surveillance phytoplanctoniques.

3- Même s'il semble avéré que toutes ces espèces soient impliquées dans le phénomène du DSP et, qu'à ce titre, un réseau de surveillance pourrait globaliser les comptages microscopiques sous la rubrique " *Dinophysis spp.*", on ne sait pas aujourd'hui s'il existe des différences spécifiques de production toxinique.

---

(1) DSP: Diarrheic Shellfish Poisoning

A défaut d'une mise en culture qui se révèle très délicate, l'isolement d'un minimum de 1000 cellules de chacun des quatre types morphologiques décrits ici permettrait des analyses ultérieures de la toxine diarrhéique responsable (acide okadaïque) de façon à estimer la relation: espèce/niveau de toxicité.

Selon Burns et Mitchell (1982) il est difficile de délimiter clairement les critères morphologiques permettant de séparer *D. acuminata*, *D. sacculus* et *D. arctica*. Nous ne proposerons donc pas au terme de cette étude une révision de la diagnose de *D. acuminata*, ce qui serait trop ambitieux, mais simplement quelques clés pour aider les personnels en charge de la surveillance estivale du phytoplancton toxique. Nous retiendrons principalement: la longueur totale moyenne, la convexité dorsale, la position de la plus grande largeur, le contour antapical et éventuellement l'extension postérieure de l'ailette sulcale gauche, comme critères d'identification de *D. cf. sacculus*, *D. cf. acuminata*, *D. cf. norvegica* et *Dinophysis sp.* (*D. lachmanni*?).

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les agents des laboratoires côtiers d'IFREMER (Contrôle et Suivi des Ressources) qui ont accepté de collaborer à ce travail en nous communiquant des échantillons fixés de phytoplancton riches en *Dinophysis spp.*

## BIBLIOGRAPHIE

ABE T.H., 1967 - Dinoflagellata: Prorocentridae and Dinophysidae (B). *Publ. Seto Mar. Biol. Lab. 15* (1): 37-78.

BALECH E., 1976 - Some norwegian *Dinophysis* species (Dinoflagellata). *Sarsia* 61: 75-94.

BALECH E., 1988 - Los Dinoflagelados del Atlantico sudoccidental. Publ. Espec. Inst. Esp. Oceanogr. 1, 310p. *Minist. Agric. Pesca y Aliment. Eds.*

BURNS D.A. & MITCHELL J.S., 1982 - Dinoflagellates of the genus *Dinophysis* Ehrenberg from New Zealand coastal waters. *New Zealand J. Mar. Freshwater Res.* 16: 289-298.

CLAPAREDE E. & LACHMANN J., 1858-59 - Etude sur les infusoires et les rhizopodes. *Mém. Inst. Genevois* 5-6: 489p.

DAHL E. & YNDESTADT M., 1985 - Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP) in Norway in the Autumn 1984, related to the occurrence of *Dinophysis spp. In* ANDERSON D.M., WHITE, A.W., BADEN D.G. (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier Science Publish Co., pp. 495-500.

DREBES G., 1974 - *Marines Phytoplankton. Eine Auswahl der Helgoländer planktonalgen (Diatomeen, Peridineen)*. Georg. Thième. Verlag., Stuttgart. 186p.

FRAGA S. & SANCHEZ F.J., 1985 - Toxic and Potentially Toxic Dinoflagellates found in Galician Rias (N.W. Spain). *In* ANDERSON D.M., WHITE A.W., BADEN D.G., (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier Science, Publ. Co., pp. 51-54.

FUKUYO Y., 1981 - "Dinoflagellates in Sanriku coast, northern part of Japan. *I. Prorocentrum, Dinophysis, Ceratium*" (en japonais), *Akashiwo Kenkyukai guide book, Fishery Agency*, Tokyo 2: 60p.

HALLEGRAEFF G.M. & LUCAS I.A.N., 1988 - The marine dinoflagellate genus *Dinophysis* (Dinophyceae): photosynthetic, neritic and non photosynthetic, oceanic species. *Phycologia* 27 (1): 25-42.

ISHIZUKA M. TSUBOI K., OHGUSHI M. & FUKUYO Y., 1986 - Pattern recognition of *Dinophysis* of oceanic phytoplankton. *Proc. Congr. Int. Reconnaissance de formes. Paris 1986*: 540-542.

JORGENSEN E., 1923 - Mediterranean Dinophysiaceae. *Rep. Dan. Ocean Exped. Mediterranean* 1908-1910, a (Biol)2J,2: 1-48.

KAT M., 1985 - *Dinophysis acuminata* blooms, the distinct cause of Dutch mussel-poisoning. *In* ANDERSON D.A., WHITE A.W., BADEN D.G. (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier Science Publ. Co., pp. 73-77.

LASSUS P. & BARDOUIL M., 1986 - Distribution du dinoflagellé *Dinophysis* sur les côtes françaises. Données taxonomiques récentes. Rapp. interne IFREMER DERO 86-10-MR, 20p.

LASSUS P., BARDOUIL M., BERTHOME J.P., MAGGI P., TRUQUET P. & LE DEAN L., 1988 - Seasonal occurrence of *Dinophysis sp.* along the French coast between 1983 and 1987. *Aquatic Living Resources* 1: 155-164.

LASSUS P., BARDOUIL M., TRUQUET I., TRUQUET P., LE BAUT C., & PIERRE M.J., 1985 - *Dinophysis acuminata* distribution and toxicity along the southern Brittany coast (France): correlation with hydrological parameters. *In* ANDERSON D.M., WHITE A.W., BADEN D.G. (Eds.), *Toxic Dinoflagellates*, Elsevier Science Publ. Co., pp. 159-164.

LEBOUR M.V., 1925 - *The dinoflagellates of Northern Seas*. Mar. Biol. Assoc. U.K., vii + 250p.

PAULSEN O., 1908 - Peridiniales. *In* BRANDT K. & APSTEIN C., *Nordisches Plankton*. Kiel, 18: 1-124.

PAULSEN O., 1949 - Observations on dinoflagellates. *In* GRONTVED J. (Ed.). *Kongel. Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skr.* 6 (4): 1-67.

PAVILLARD J., 1923 - A propos de la systématique des Péridiniens (1 et 2). *Bull. Soc. Bot. France 70* (4ème série, T. 23): 876-882.

SCHNEPF E. & ELBRÄCHTER M., 1988 - Cryptophycean like double membrane bound chloroplast in the dinoflagellate *Dinophysis* Ehrenberg: evolutionnary, phylogenetic and toxicological implications. *Botanica Acta* 101: 196-203.

SOLUM I., 1962 - The Taxonomy of *Dinophysis* populations in norwegian waters in view of biometric observations. *Nytt. Mag. Bot.* 10: 5-32.

STEIN F.R., 1883 - *Der organismus der Arthrodelen Flagellaten, nach eigene Forschungen in systematischer Reihenfolge bearbeitet*. Leipzig, 30p.

TAI L.S., SKOGSBERG T., 1934 - Studies on the Dinophysoidae, marine armored dinoflagellates, of Monterey Bay, California. *Arch. Protistenk.* 82 (3): 380-482.

YASUMOTO T., OSHIMA Y., SUGAWARA W., FUKUYO Y., OGURI H., IGARASHI T. & FUJITA N., 1980 - Identification of *Dinophysis fortii* as the causative organism of Diarrhetic Shellfish poisoning. *Bull. Jap. Soc. Sci., Fish* 46 (11): 1405-1411.

*Cryptogamie, Algol. 1991, 12 (1): 11-29* 

# MOUVEMENTS DES DIATOMÉES. I - L'ÉQUILIBRE DYNAMIQUE CHEZ *RHOICOSPHENIA ABBREVIATA*

Jean BERTRAND

42, rue de Malvoisine, 45800 Saint-Jean-de-Braye, France

RÉSUMÉ - *Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot vivant naturellement en épiphyte, n'a, jusqu'à présent, jamais été décrit dans la totalité de ses comportements à l'état libre. L'étude montre que 20 % des cellules libres se déplacent sur leur face valvaire ventrale, alors qu'elles reposent, à l'arrêt, sur leur face connective. *Rhoiscosphenia* peut basculer latéralement, pivoter verticalement, horizontalement et se déplacer sous la lamelle couvre-objet, avec une vitesse moyenne d'environ 20 000 $\mu$m Heure$^{-1}$. Il présente en vue connective une forme dissymétrique qui pose un problème ardu d'équilibre statique et dynamique. Les méthodes d'analyse graphique utilisées dans le domaine de l'ingénieur en mécanique, telles que la géométrie descriptive et la statique graphique, sont appliquées ici. Cette étude permet de définir les conditions indispensables pour qu'une théorie explicative des mouvements, puisse être en accord avec les observations et les exigences de la bio-mécanique. Les théories de Hopkins & Drum (1966), Edgar (1979), Edgar & Pickett-Heaps (1983), sont testées sans toutefois apporter de certitude quant à leur validité.

ABSTRACT - *Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot naturally living as epiphytic algae, has to date never been described in its whole behavioural *"in vivo"* life. This study points out that 20 % of free cells move on their valvar view, but normally lie on their girdle band. *Rhoicosphenia* may bank on its sides, rock around vertical and horizontal axes, and move between slides with an average speed of 20 000 $\mu$m Hour$^{-1}$. Howewer, the dissymetrical shape of the girdle band raises a real problem in terms of static and dynamic balance. We may apply here graphic analyses methods used in mechanical engineering, as descriptive geometry and graphical statics. This study allows us to define mandatory conditions so that such an expletive theory may fit observations and bio-mecanics constraints. Therefore, Drum & Hopkins (1966), Edgar (1979), Edgar & Pickett-Heaps (1983) theories are tried for this problem, without whenever bringing any certainty regarding their relevance.

MOTS CLÉS : Bacillariophyceae, diatomées, mouvements, vitesse, équilibre, statique, dynamique, *Rhoicosphenia*.

## I - INTRODUCTION

*Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) Lange-Bertalot est une diatomée relativement commune, qui a toujours été citée comme une espèce fixée (Ger-

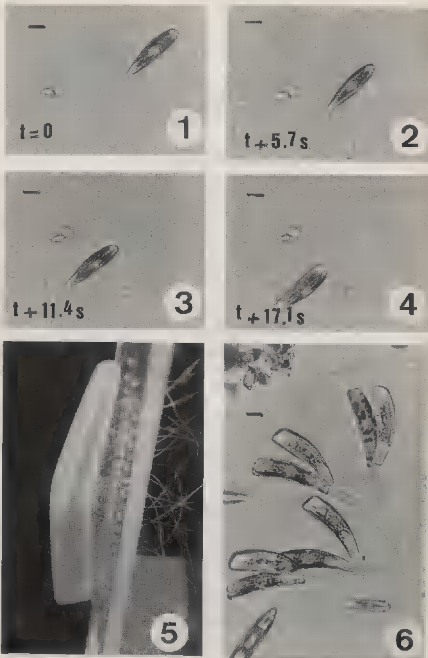



Fig. 1 à 4: Séquence de déplacement de *Rhoicosphenia abbreviata* petit apex en avant. Distance parcourue 75µm en 17.1 secondes, soit 15 900µm/heure. On remarquera le balancement latéral en 1 et 4. - Fig. 5: Maquette en altuglass - Echelle 3 285/1 et son support perforé. - Fig. 6: Colonie de *Rhoicosphenia abbreviata* fixées. Echelle: 10µm

main, 1936, 1981; Bourrelly, 1981; Krammer & Lange-Bertalot, 1986; Ricard, 1987). Elle vit souvent en colonies très abondantes sur divers supports tels que: des macrophytes, des algues (genre *Cladophora*), ou même directement sur des objets immergés, fixée par de courts pédicelles. Le genre *Rhoicosphenia* ne contient que deux espèces d'eau douce et saumâtre ; ceci explique peut-être le peu d'études qui lui a été consacré. On peut noter, outre les ouvrages de détermination classiques, des travaux de taxinomie et morphologie (Lange-Bertalot, 1980; Medlin & Fryxell, 1984) d'écologie (Germain, 1936) de biologie et physiologie (Cholnoky, 1927a; Mann, 1982 a et b; 1984) pour les plus récents. Au cours d'une étude sur la vitesse des diatomées (Bertrand, sous presse), les déplacements de cette espèce ont pu être observés (Fig 1, 2, 3 et 4) et confirment la mesure de vitesse relevée par Mann (1982 a). Les mouvements s'effectuent dans tous les sens comme chez la plupart des autres diatomées ce qui est d'autant plus surprenant que l'espèce, de par sa morphologie, ne devrait pas pouvoir se déplacer sur la face valvaire. En effet, dans cette position, sur une surface plane, elle ne repose que sur deux points seulement à chaque extrémité, du fait de la concavité de la face ventrale. L'équilibre statique ne peut donc être assuré. D'autre part, étant souvent en repos sur sa face connective, elle doit, avant de se déplacer, effectuer un basculement latéral de 90°. C'est là un problème de bio-mécanique très intéressant et nouveau, qui résume à lui seul les autres interrogations concernant les mouvements des diatomées. Ce travail permet l'approche un peu plus précise d'une théorie sur le déplacement qui doit, pour être crédible, englober et expliquer tous les mouvements possibles observés et non uniquement le déplacement apical qui a déjà fait l'objet de nombreuses publications (Nulsch, 1962; Drum & Hopkins, 1966; Harper, 1977; Edgar, 1979a et b; Edgar & Pickett-Heaps, 1983).

Les caractères propres aux déplacements (types, fréquences des mouvements et vitesse) ont été relevés sur 2160 individus libres de *Rhoicosphenia abbreviata* et soumis à divers traitements statistiques. Une analyse de l'équilibre statique et dynamique à l'aide de la géométrie descriptive (Volquin, 1989) et de la statique graphique (Larralde, 1981) a été menée afin de parvenir à une meilleure appréhension du phénomène.

## II - MATERIEL ET METHODE

Le matériel vivant a été récolté à Saint Jean de Braye (près d'Orléans) dans le déversoir et le raccordement d'une petite rivière. Les cellules les plus mobiles ont été prélevées sur des algues filamenteuses appartenant au genre *Cladophora* immergées sous une mince couche d'eau ruisselante. La récolte doit être effectuée avec délicatesse car le raclage ou le brossage, provoque la fragmentation et la mort des diatomées.

Une maquette, à l'échelle 3 285/1 (Fig. 5) a été réalisée en "Altuglass", sur laquelle ont été fixés de fins fils de nylon, au niveau des raphés, afin de simuler des "microfibrilles". L'Altuglass a été choisi pour sa densité de 1,175, qui doit se rapprocher de celle de la diatomée, lorsque la maquette est immergée dans l'eau. Un support perforé de 3 séries de trous a été fabriqué (Fig. 5) pour permettre la manipulation des fils et ainsi restituer certains

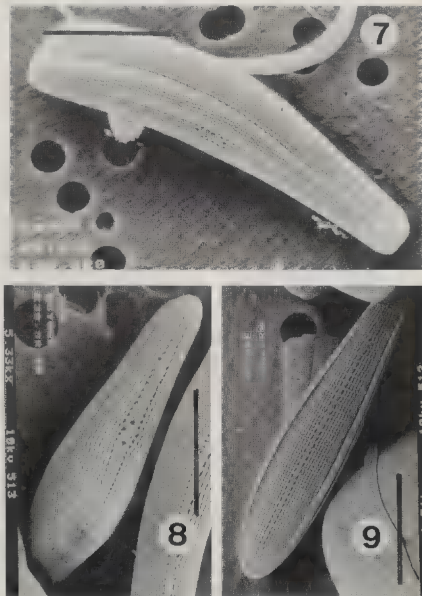



Fig. 7, 8, 9: *Rhoicosphenia abbreviata* (Photos: MEB de W. GÜTTINGER) - 7: en vue connective oblique. - 8: en vue valvaire ventrale. - 9: en vue valvaire dorsale. - Echelle 10$\mu$m

mouvements. De nombreuses séquences du comportement ont été enregistrées sur vidéo - VHS - PAL, Capteur d'image Couleur BISCHKE CCD F 12, Moniteur couleur BISHKE TVM 10 F, Magnétoscope AKAI multistandard VS 498 SEG.

## III - OBSERVATIONS

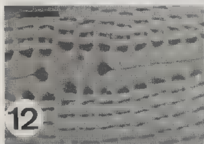
La terminologie utilisée dans la description des principaux mouvements des diatomées peut être définie comme suit:
- **Déplacement apical:** signifie glissement dans le sens de l'axe apical.
- **Basculement:** implique un mouvement de rotation autour de l'axe apical dans le plan transapical.
- **Pivotement polaire** signifie rotation autour d'un pôle dans le plan valvaire (horizontal) ou dans le plan apical (vertical) alors que **pivotement médian** se traduit par une rotation autour du nodule central dans le plan valvaire ou apical.

La presque totalité des observations effectuées sur *Rhoicosphenia abbreviata* vivant, ont eu lieu sur des cellules fixées par des pédicelles (Fig. 6), parfois en colonies extrêmement denses sur *Cladophora*. Cependant, l'observation du matériel vivant a permis de déceler des cellules indépendantes parfaitement identifiables lorsqu' elles reposent sur leur face connective mais plus délicates à reconnaître quand elles glissent sur leur face valvaire. Elles ressemblent alors à certains *Gomphonema longiceps* Ehrenberg, *G. gracile* Ehrenberg, pour les plus grandes, ou *G. olivaceum* (Hornemann) Bréb. pour les plus petites. Néanmoins, *Rhoicosphenia* se déplace toujours en se balançant latéralement avec une grande amplitude de plus ou moins 30° de chaque côté de la position verticale (Fig. 1 à 4) à la différence de *Gomphonema* qui reste stable. La position normale de repos est la face connective. C'est dans cette position que l'on trouve 80 % des cellules immobilisées par un fixateur chimique (Fig. 18). Cette proportion n'est plus que de 43 % pour les cellules vivantes. Nous avons alors 57 % des cellules vivantes en vue valvaire, dont 22 % sont en mouvement (Fig. 19).

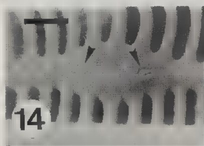
Le déplacement apical s'effectue en grande majorité sur la face valvaire concave portant le raphé (86 % des cas), et la diatomée progresse indifféremment dans un sens (41 % sens base vers apex) ou dans l'autre (Fig. 20). Ces résultats se retrouvent que l'on observe sur la lame en position horizontale - verticale ou sous la lame couvre-objet. Le plan apical de la cellule par rapport à la verticale n'est pas fixe comme dans *Gomphonema*. Le plus souvent, il est incliné d'un angle qui peut atteindre 60° par rapport à la verticale. Ceci permet d'observer la diatomée en mouvement, presque en vue connective, même sous la lamelle (75 % en position oblique). Le déplacement sur la bande connective en l'absence de support latéral, dorsal ou ventral, est rare (4,5 % des observations) mais indéniable (Fig. 20). Ce déplacement a fait l'objet de nombreuses controverses. Dès 1894, Müller avait signalé la possibilité d'un tel déplacement chez les diatomées. Après un travail minutieux d'analyse, à l'aide du cinéma, Harper (1967) et Edgar (1979a et b) contestèrent ces observations car, dans tous les cas où le phénomène apparaissait, la diatomée prenait appui sur de la matière organi-

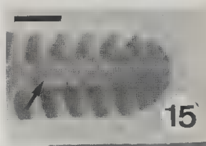

10


11

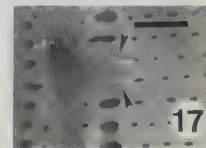

12


13


14


15


16


17

que. Dans le cas de *Rhoicosphenia abbreviata*, les séquences vidéo enregistrées ont montré l'absence totale de support latéral et à notre connaissance ce mouvement n'a jamais été décrit. C'est pratiquement la seule espèce de diatomée à raphé central que nous ayons observé dans cette position, effectuant des glissements en général courts de 30 à 40 $\mu m$. En revanche, le déplacement en vue connective avec support latéral ventral ou dorsal, si petit soit-il, (1/20° du volume de la diatomée) est courant.

Le basculement latéral a lieu indifféremment de la position connective vers la position valvaire et vive-versa. Dans le premier cas, la cellule en position connective semble se soulever à une extrémité, puis glisser et enfin, en une fraction de seconde, elle se redresse sur la face valvaire pour entamer un déplacement apical. Le basculement de la position valvaire à la position connective peut être observé dès que la diatomée s'arrête; elle s'incline alors sur le côté et se repose sur la bande connective. En raison de leur courte durée, peu de basculements (9,5 % des mouvements) ont été observés (cf. Fig. 20), mais il est bien évident que toutes les cellules en déplacement valvaire (mouvement le plus répandu 80% des observations) ont, à un certain moment, basculé de la position connective à la position valvaire, sans pouvoir être observées à ce moment précis.

Le pivotement polaire horizontal est un mouvement rare chez *Rhoicosphenia* (4,5 % des cas observés). L'amplitude de l'angle de pivotement est en moyenne de 70° mais elle peut atteindre parfois 270° en moins d'une seconde (3 cas observés).

Le pivotement polaire vertical a été plus rarement observé que le précédent. Cinq diatomées sur lame et six, sous lamelle, ont parcouru un angle de 90°. Deux cas ont été suivis d'un pivotement horizontal.

Le pivotement médian n'a jamais été observé lorsque la diatomée est en contact avec la lame de verre (Fig. 20), mais il est apparu quatre fois lorsque *Rhoicosphenia abbreviata* prenait appui sur la matière organique entre lame et lamelle. Ce mouvement, remarqué une fois avec une rotation verti-

---

Fig. 10 à 15: *Rhoicosphenia abbreviata*. (Photos: MEB de W. GÜTTINGER) - 10: Fissure de la terminaison apicale de la face ventrale - Echelle: 1$\mu$m. - 11: Valve dorsale traitée aux ultrasons - Les côtes internes apparaissent clairement - Echelle: 10$\mu$m. - 12: Pores centraux extérieurs de la valve ventrale - Echelle: 1$\mu$m. - 13: Pores extérieurs de la terminaison basale de la face dorsale - Echelle: 1$\mu$m. - 14: Pores centraux intérieurs de la valve ventrale - On voit nettement les crochets du raphé (flèche) Ech. 1$\mu$m. - 15: Pore intérieur de la terminaison basale avec crochet du raphé (flèche) - Echelle: 1$\mu$m.

Fig. 16: Pores centraux internes d'une valve de *Gomphonema* sp. On remarque les crochets très importants perpendiculaires à l'axe apical (Photo: LANGE-BERTALOT, 1980) - Echelle: 1$\mu$m.

Fig. 17: Pores centraux externes d'une valve de *Nitzschia obtusa*. On voit les branches perpendiculaires du raphé (Photo: H. GERMAIN, 1984) - Echelle: 1$\mu$m.

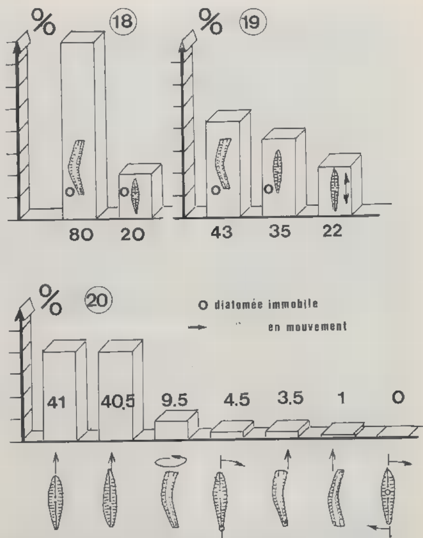



Fig. 18 à 20: Statistiques - Fig. 18: Fréquence relative, sur support de verre, des positions des diatomées tuées au fixateur de SEMICHON (250 mesures). - Fig. 19: Fréquence relative, sur lame de verre, des positions et comportement des diatomées vivantes (200 mesures). - Fig. 20: Fréquence relative, sur lame de verre, des mouvements des diatomées vivantes (200 mesures).

cale, et trois fois lorsque la diatomée parcourait un trajet hélicoïdal sur un filament de *Melosira varians* Ag., a fait l'objet d'un enregistrement vidéo.

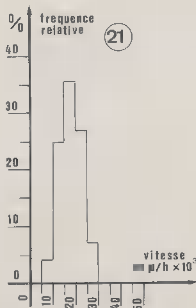



Fig. 21: Histogramme des vitesses - Fréquence relative des diatomées en fonction de la vitesse (1450 mesures; 150 retenues).

Les vitesses mesurées, suivant le protocole décrit pour cinq taxons par Bertrand (sous presse), ont les mêmes caractéristiques dans le cas présent. La vitesse est séquentielle et suit une loi statistique Gaussienne; elle varie de 10 000 à 30 000μm/heure, la vitesse moyenne de la majorité des individus se situant autour de 20 000μm/heure (Fig. 21). La vitesse instantanée, qui n'a pas été mesurée, présente les mêmes particularités que celles décrites par Edgar (1979a et b): mouvements saccadés, aléatoires, provenant probablement de l'arrachement du mucus sur le substrat (lame de verre). Le phénomène est d'autant plus apparent que la diatomée est petite. La vitesse moyenne est identique sur lame (21700 ± 3 800 μm/h) et sous lamelle couvre-objet (25000 ± 3100μm/h), en position valvaire (24500μm/h) et connective (23500μm/h), dans un sens (base-apex) (20800μm/h) ou dans l'autre (apex-base) (22300μm/h), confirmant ainsi les observations de Drum & Hopkins (1966) sur d'autres espèces de diatomées hétéropolaires.

Le mouvement des matières organiques transportées par les raphés existe également chez *Rhoicosphenia*, mais il est assez rare, probablement en raison de la très courte longueur des raphés dorsaux. Cette vitesse n'a pas été mesurée, car le nombre d'observations était trop faible et non significatif. Toutefois, sur un *Rhoicosphenia* à l'arrêt en position valvaire, l'attraction d'une parcelle de matière organique et son introduction entre la face valvaire ventrale et un filament de *Cladophora* ont pu être enregistrées sur Vidéo. L'aspiration a eu lieu à une distance de 4 μm de la diatomée. De tels phénomènes ont déjà été décrits sur *Pinnularia* par Müller (1894) et par

d'autres auteurs chez *Nitzschia sigmoïdea* (Nitzsch.) W. Smith, mais ces observations ont été, semble -t-il à tort, vivement contestées par Harper (1977).

Les cellules initiales sont également douées de mobilité mais il est rare d'en observer dans les populations sauvages (six cas en un an). La vitesse, (21600 ± 3830 µm/heure), et les mouvements sont identiques à ceux des formes végétatives.

## IV - MORPHOLOGIE

La forme dissymétrique du plan apical de cette diatomée est bien connue, de même que l'ornementation des valves. Les rapports des dimensions, leur variabilité, la courbure des valves ventrales ainsi que les rayons de raccordement des faces (le rayon de raccordement se définit comme étant le rayon du cylindre tangent à deux plans, formant un dièdre; dans le cas présent il s'agit de la valve et de la bande connective) ont été examinés afin de déterminer les paramètres essentiels de l'équilibre statique et dynamique de *Rhoicosphenia abbreviata*.

Sur l'ensemble des cellules étudiées la longueur de la valve varie de 11 à 45µm, tandis que l'épaisseur du frustule (largeur de la vue connective) varie de 4,5 à 7µm. La largeur varie de 4,5 à 9µm pour des valves de 11µm de longueur, mais seulement de 9 à 11µm pour les valves de 45µm de longueur. La courbure des valves ventrales est très peu variable (a= 172°76 ffi 3°08) quelque soit la longueur (corrélation = + 0,023). Le raphé, déjà décrit par les taxonomistes, développe une fissure droite, très longue, sur la terminaison apicale de la face ventrale (Figs. 8 et 10) et deux petites fissures droites à chaque terminaison de la valve dorsale (Figs. 9 et 13).

Mais, ce qui est remarquable, c'est la forme en hameçon des pores centraux des raphés internes, bien visibles sur les 2 valves (Figs. 14 et 15). Cette disposition est très importante, car elle représente une difficulté supplémentaire à la compréhension de l'extrusion des microfibrilles mucilagineuses dans la théorie de Edgar & Pickett-Heaps (1983).

Les valves se terminent à chaque extrémité par un arrondi de rayon de 1µm environ. Le rayon du manteau de la valve ventrale varie selon les individus de 1µm aux extrémités à 3µm au niveau des nodules centraux (Fig. 7). Ces proportions définissent un volume obligatoirement instable dont toutes les arêtes sont arrondies, où la hauteur est souvent plus grande que la largeur et qui repose sur deux pointes hémisphériques à chaque extrémité lorsque la diatomée est en mouvement.

## V - L'EQUILIBRE STATIQUE

C'est la position occupée par un corps immobile pour obtenir la stabilité maximale. Les cellules vivantes de petites dimensions (11µm) dont la vitesse de chute dans l'eau est de 16200 ± 280µm/heure ne sont pas en équilibre hydrostatique mais soumise à la force gravitationnelle. La poussée d'Archimède s'exerce, pour une hauteur d'eau de dix fois la hauteur de la

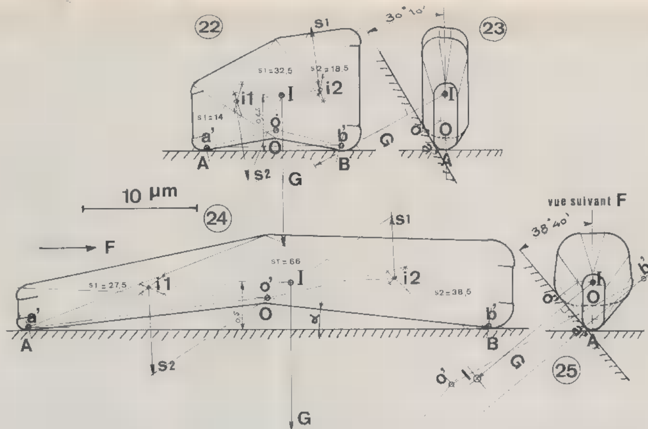



Fig. 22 à 25: Analyse d'équilibre en statique graphique - 22-23: Diatomée courte et épaisse. La projection G du centre d'inertie I est en dehors du triangle a'o'b'. La diatomée se couchera en position connective. - 24-25: Diatomée longue et mince. La projection G du centre d'inertie I est à l'intérieur du triangle a'o'b'(Fig. 25). La cellule restera en appui et en équilibre sur le plan oblique.

diatomée, au même point que le centre d'inertie de la cellule, ce qui implique que seule la répartition des masses de la diatomée, par rapport aux points d'appui, détermine la position de la cellule immergée au repos. La recherche par la statistique graphique du centre d'inertie a permis de constater qu'il se situait toujours près de la moitié de la hauteur de la valve (Figs. 22 et 24). De ce centre d'inertie I, un vecteur G, dont la valeur est égale à la masse M de la diatomée et dont, l'orientation est perpendiculaire au plan d'appui, nous renseigne directement sur l'équilibre ou l'instabilité de la diatomée.

Ainsi, *Rhoicosphenia abbreviata*, en appui vertical sur ses deux points A et B est donc en **instabilité permanente et bascule obligatoirement sur la face connective** ce qui est aisément vérifié sur la maquette immergée. Cependant, du fait de la plus grande largeur au centre de la valve ventrale, géométriquement, il existe un plan oblique intermédiaire qui a pu être déterminé par les méthodes de la géométrie descriptive C'est le plan oblique, tangent aux rayons de raccordement des valves et du manteau. Il est défini sur les figures 22 et 24 par les points a'o'b', figurés en vue connective et en vue de l'extrémité de la diatomée (Figs. 23 et 25).

L'inclinaison du plan oblique, par rapport au plan apical, a pu être définie entre 27° et 43° ce qui permet de formuler deux hypothèses:

a) Si la valve à une faible largeur et une forte hauteur, l'inclinaison du plan est minimale. La projection de I sur le plan de repos est alors située très nettement en dehors du plan oblique a'o'b' (Fig. 23). Dans ce cas, la diatomée bascule obligatoirement en position connective, ce qui explique la fréquence élevée (80%) des individus de *Rhoicosphenia abbreviata* observés dans cette position.

b) Si la valve est de grande largeur et de faible hauteur, l'angle du plan oblique est maximal et la projection de I passe très près du point o' et peut, suivant le rayon de raccordement du manteau, passer à l'intérieur du triangle a'o'b' créant ainsi les conditions d'équilibre au repos en position inclinée (Fig. 25). Cette dernière constatation est confirmée par l'observation de 20% des valves dans cette position.

## VI - L'EQUILIBRE DYNAMIQUE - DISCUSSION:

Nous avons donc la confirmation qu'au point de vue de l'équilibre statique, *Rhoicosphenia abbreviata* ne devrait se déplacer que très rarement sur la face ventrale. Or, l'observation démontre que c'est un phénomène courant. En effet, la fréquence des valves vivantes en position valvaire est de 57% (dont 22% en déplacement) contre 20% dans le cas de valves tuées par fixation chimique. C'est ce qui nous conduit à nous interroger sur les problèmes d'équilibre dynamique avec deux objectifs prioritaires:

- déterminer les séquences de mouvements conduisant de la position connective à la position valvaire avec le minimum d'effort.

- déterminer les forces actives et passives permettant ces mouvements.

Pour la détermination des forces, les hypothèses de fonctionnement de la diatomée développées par Hopkins & Drum (1966) et Edgar & Pickett-Heaps (1983) ont été retenues en vue de définir les forces motrices, les forces résistantes et leurs orientations. La deuxième hypothèse est le prolongement de la première mais, propose un système moteur différent. Nous n'avons pas retenu la théorie de Harper (1967) car elle est impropre à expliquer la plupart des mouvements comme l'ont démontré Edgar & Pickett-Heaps (1983).

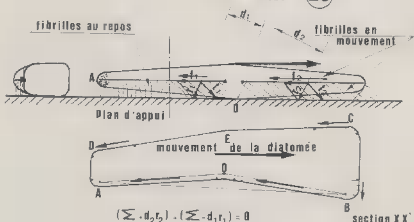
Après avoir découvert la présence de microfilaments en faisceaux parallèles au raphé, assimilables aux microfibrilles des muscles striés et accompagnés de corps cristalloïdes susceptibles de sécréter du mucus, Hopkins & Drum (1966) tentent d'expliquer la propulsion des diatomées par l'existence de faisceaux de microfibrilles contractiles, issus du raphé et s'accrochant au substrat.

Edgar (1979a et b) puis Edgar & Pickett-Heaps (1983) décrivent des vésicules à mucus, contenant également les germes des microfibrilles. Celles-ci sont extrudées dans les pores centraux du raphé et sont liées au plasmalemme. Elles assurent la propulsion par un déplacement inverse de la diatomée, à la même vitesse en prenant appui sur le substrat à l'extérieur. Nous remarquons que les deux théories n'envisagent que le déplacement apical de la diatomée. Elles ne traitent pas des basculements latéraux ni des autres mouvements tels que les pivotements polaires. A partir de la théorie d' Edgar & Pickett-Heaps (1983) la réalisation du basculement latéral de *Rhoicosphenia* pourrait être décrite de la manière suivante: des pores centraux et apicaux et sur toute la longueur du raphé les microfibrilles mucilagineuses s'écoulent et entrent en contact avec le substrat; ensuite, ou simultanément, les microfibrilles se déplacent dans la même direction le long du raphé.

Plusieurs conséquences peuvent être dégagées de cette hypothèse: Les microfibrilles qui doivent avoir une certaine élasticité seront mises en tension et s'inclineront à cause du déplacement axial : la décomposition des forces se fera suivant la figure 26: il y aura égalité des forces situées de part et d'autre de l'axe de pivotement O'E, et il y aura mise en mouvement du fait des forces de propulsion (f1, f2...fn) et des forces de traction (t1, t2,... tn). La somme vectorielle des forces f et t engendre une résultante r dirigée vers le plan d'appui. Ainsi la diatomée sera plaquée sur le substrat. Les microfibrilles issues du raphé ventral, exercent leurs actions à l'intérieur du plan d'appui AOB. Ceci empêche formellement le basculement de la position connective vers la position valvaire en raison des considérations étudiées en équilibre statique. D'autre part, les deux raphés dorsaux C et D exercent simultanément leurs forces et viennent en opposition à l'action du raphé ventral.

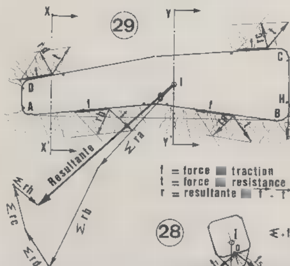
En résumé, nous obtenons un déplacement apical sur la face connective qui rend compte de 4 % des mouvements observés, mais il n'y a pas de soulèvement d'une extrémité et surtout il y a impossibilité de basculement transapical.

Ces résultats sont totalement confirmés par la simulation sur la maquette immergée. Ainsi, la théorie de Edgar & Pickett-Heaps (1983) ne pa-


ETUDE DES FORCES 26
fibrilles au repos
fibrilles en mouvement
Plan d'appui
mouvement de la diatomée
(Σ +d2r2) + (Σ -d1r1) = 0


section XX'
27


section YY'
30
R.d > M.D
=basculement


29
Resultante
f = force traction
t = force resistance
r = resultante


28
Σ+f5d5 - Σf1d1 - M.D = 0

rait pas pouvoir expliquer les basculements transapicaux. Afin de réaliser correctement les trois séquences définies plus haut - qui rendraient compte des observations dans le cadre des deux hypothèses retenues - un certain nombre de corrections seraient nécessaires:

1er temps - S'il n'y a pas basculement naturel autour de OE, il faut qu'une des extrémités génère des microfibrilles avant les raphés centraux.

2ème temps - Les branches des raphés ventraux et dorsaux sécrètent leurs microfibrilles, mais les filaments de la face en contact avec le substrat adhèrent les premiers, car ils sont plus près de l'appui. Par leurs contractions, les microfibrilles engendrent un effort dissymétrique entre OB et C (ou entre OA et D) jusqu'à ce que C s'arrache de l'appui (puisque C est deux fois moins long que OB). Cette situation crée un couple de rotation autour de OB (ou de OA) et permet le basculement jusqu'au plan oblique a'o'b'.

3ème temps - Le brusque relâchement de C permet aux microfibrilles OB d'agir comme des ressorts, provoquant le mouvement de rotation qui se poursuit jusqu'en position verticale - ce qui explique les observations de basculements en une fraction de seconde. Cependant, arrivée à cette position, la diatomée est en équilibre instable. Si les microfibrilles des raphés AOB sont dans le même plan, ainsi que Edgar & Pickett-Heaps les décrivent, il ne peut y avoir de maintien en équilibre car les forces de traction sont elles aussi dans un même plan. L'ensemble pivote donc autour de l'axe AB et la diatomée retombe en face connective. Les essais sur maquette confirment parfaitement cet exposé.

L'hypothèse d'Edgar & Pickett-Heaps semble donc difficile à appliquer aux mouvements de *Rhoicosphenia abbreviata* aussi avons nous essayé de tirer partie de la théorie de Hopkins & Drum (1966). On peut alors penser que les microfibrilles, très fortement hydratées, sont en équilibre hydrostatique et se dispersent en divergeant (Fig. 27). Dans la première étape du contact avec le substrat, les plus divergentes (f1, f2) vont adhérer les premières et donc assurer le basculement après contraction. Ensuite, lorsque la diatomée sera en position valvaire, les microfibrilles opposées (f4, f5) seront également en contact avec le substrat. Elles maintiendront alors la diatomée en équilibre

---

Fig. 26 à 30: Analyse des forces. - Fig. 26: *Rhoicosphenia abbreviata* au repos en position connective. Les microfibrilles exercent une traction suivant les flèches après avoir adhéré sur le plan d'appui selon l'hypothèse d' Edgar & Pickett-Heaps (1983). - Fig. 27: Coupe de la diatomée suivant le plan transapical illustrant les microfibrilles divergentes de l'hypothèse de Drum & Hopkins (1966). - Fig. 28: Coupe suivant le plan transapical d'une cellule en appui sur ces deux extrémités. Répartition des forces conduisant à l'équilibre selon l'hypothèse de Drum & Hopkins (1966). - Fig. 29-30: Vue connective avec répartition des microfibrilles divergentes exerçant une traction pour provoquer le mouvement. Répartition des forces et leur résultantes conduisant au basculement latéral sur la valve ventrale selon les hypothèses cumulées de Hopkins & Drum (1966) et Edgar & Pickett-Heaps (1983).

par la réalisation d'un triangle f1-O-f5 dont deux côtés f1 et f5 sont en extension, permettant le maintien en position stable (Fig. 28) (équilibre parfaitement vérifié sur la maquette). Toutefois, le maintien dans cette position serait relativement instable en raison du remplacement des microfibrilles au cours du déplacement longitudinal ce qui expliquerait le balancement latéral observé.

L'adoption de l'hypothèse des microfibrilles divergentes en équilibre hydrostatique présente plusieurs avantages importants: 1) Ces microfibrilles peuvent s'échapper de la diatomée dans toutes les directions y compris de bas en haut et permettre ainsi le déplacement sous la lamelle, confirmant les observations. 2) Du fait de la divergence, le point extrême d'adhésion des filaments les plus éloignés (f1 ou f6) pourra se situer au delà de la ligne AB. Alors, la contraction permettra directement le basculement sans passer par les stades 1 et 2. La manipulation de la maquette le montre aisément.

Cependant, nous n'avons pas résolu le mouvement apical de la diatomée et il est alors tentant d'adjoindre le déplacement longitudinal de Edgar & Pickett-Heaps (Fig. 29). Ces dispositifs conjugués déterminent une somme de forces résultantes obliques (r1 + r2 + r3 + rn = R) qui, compte tenu de la disposition des raphés, aura tendance à déplacer latéralement la diatomée. Ainsi, aura été créé un couple de basculement R de distance d, prenant appui sur l'angle du manteau et des extrémités AB. Ce couple vient en opposition à celui formé par la masse M de la diatomée appliquée en I, au centre d'inertie, avec une distance D (l'angle du manteau) (Fig. 30). Si l'effort de traction est suffisant, il y aura basculement. La position valvaire étant alors atteinte et conservée par la traction des faisceaux divergents, le mouvement apical pourra alors se poursuivre.

## VII - CONCLUSION

Considérées séparément, les théories explicatives du mouvement de Drum & Hopkins (1966) ou de Edgar & Pickett-Heaps (1983) ne semblent pas pouvoir résoudre les problèmes de l'équilibre, du basculement latéral et du déplacement apical de *Rhoicosphenia abbreviata*. La réunion des deux hypothèses permettrait, au moins théoriquement, de résoudre ces trois interrogations de base. Mais il semble nécessaire de modifier certains éléments de l'une et de l'autre de ces théories. Enfin, quelques points essentiels, qui n'ont pas encore été évoqués et dont la résolution parait douteuse ou erronée ou même non traitée, ne permettent pas de mettre un point final à l'étude du mouvement des diatomées. En effet, Edgar & Pickett-Heaps (1983) imaginent des microfibrilles tractrices rigides dans le plan apical. Or, il y a une incompatibilité entre deux états physiques des microfibrilles: elles seraient souples dans le plan transapical pour épouser les sinuosités du raphé, et par contre, elles seraient rigides dans le plan apical pour permettre la traction de la diatomée; c'est une contradiction majeure. Ce qui nous conduit à réfuter également le système d'ancrage des microfibrilles sur le plasmalemme (Edgar & Pickett-Heaps, 1983). Cet ancrage, qui n'est pas un encastrement comme chez les Ciliés ou les Héliozaires, ne peut permettre le maintien perpendiculaire de la fibre sur son support. Il va donc nécessairement s'incliner sous

l'effort. D'autre part, comment une microfibrille naissante et s'allongeant lentement peut-elle trouver une ouverture réduite, se présentant obliquement, alors qu'elle peut être entraînée sous le raphé jusqu'à une vitesse de 35µm/seconde, comme chez *Nitzschia closterium*. (Ehrenb.) W. Smith. Edgar & Pickett-Heaps (1983) suggèrent que le guidage des microfibrilles est réalisé par des microtubules du cytosquelette mais à l'arrêt. Or, dès que la diatomée a atteint sa vitesse nominale, il faut bien que d'autres microfibrilles soient sécrétées et extrudées pour entretenir le mouvement, ainsi, elles seraient entraînées dans l'intérieur du raphé où elles disparaîtraient. Enfin, il faut que les microfibrilles sortent du pore central du raphé et ceci est une autre difficulté importante. En effet, certaines diatomées, dont *Rhoicosphenia abbreviata*, ont un raphé qui possède une structure interne différente de la structure externe. Elles prennent souvent l'aspect d'un véritable crochet (Figs. 14 et 15). Le cas est particulièrement net chez *Gomphonema* sp. (Lange-Bertalot, 1980) cf. Fig. 16, *G. gracile*, *G. accuminatum* Ehrenberg, *G. angustatum* (Kütz.) Rabenh., *G. clavatum* Ehrenberg (Güttinger, 1987). Cette disposition est retrouvée également, mais avec un crochet très allongé extérieur, chez *Gyrosigma accuminatum* (Kütz.) Raben. (Güttinger, 1987; Germain, 1988). Elle est également visible sur les *Neidium*, *Cymbella silesiaca* Bleisch in Raben., *C. minuta* Hilse, *C. gracilis*, (Ehrenb.) Kütz., mais la difficulté maximale est présentée par *Nitzschia obtusa* W. Smith (Fig. 17) où la branche centrale du raphé est perpendiculaire à l'axe apical, tout comme chez *Nitzschia ignorata*, Krasske, *N. filiformis*, (W. Smith) Van Heurck, *N. brevissima* Grünow (Germain, 1984).

Quel peut-être alors le chemin des microfibrilles ? car si elles s'engagent dans l'extrémité du crochet, elles ne parviendront jamais à l'extérieur, puisqu'elles sont entraînées suivant l'axe apical, à grande vitesse !

Le problème de l'extrusion est encore accru si l'on fait naître les microfibrilles sur l'apex, car alors, elles doivent passer dans l'hélictoglosse par une fissure fermée à l'intérieur, souvent perpendiculaire à l'axe apical, comme dans *Cymbella erhenbergii* Kütz., *C. cistula*, (Ehrenb.) Kirch., *C. affinis* Kütz. (Gütinger, 1987). En revanche, si des microfibrilles contractiles sont fixées le long du raphé, l'hypothèse devient réaliste et rend assez bien compte d'un certain nombre d'observations mais malheureusement pas du déplacement apical qui reste à étudier en fonction de la bio-mécanique. Les quelques points évoqués ici parmi de nombreux autres, tels que le pivotement vertical ou horizontal, montrent bien la grande difficulté à bâtir un système cohérent avec les observations et les impératifs de la bio-mécanique.

La théorie de Edgar & Pickett-Heaps (1983), malgré les progrès incontestables qu'elle a fait faire dans le domaine de la compréhension du fonctionnement interne des diatomées, parait impropre à expliquer, sans de profondes modifications, les liaisons mécaniques diatomée-substrat. Drum & Hopkins (1966) semblent plus près de la vérité. Les documents photographiques donnés dans Round *et al.* (1990, Fig. 71c et d) confirmeraient parfaitement l'hypothèse des microfibrilles évoquées fig. 27 et 28. de la présente étude.

Le cas de *Rhoicosphenia abbreviata* étudié ici est exemplaire à cet égard. Il a permis une approche nouvelle et une réflexion plus approfondie sur les relations mécaniques diatomée-substrat.

## REMERCIEMENTS

Je remercie particulièrement Monsieur W. Güttinger pour les photos en MEB, Messieurs M. Coste et F. Straub pour avoir accepté de corriger mon manuscrit et apporté d'utiles suggestions, Monsieur Lange-Bertalot et Madame Germain pour m'avoir permis de me servir de leurs documents photographiques. Merci à ma fille Catherine pour le travail de secrétariat.

*Nota:* La cassette vidéo "L'équilibre dynamique chez *Rhoicosphenia abbreviata*" montrant les séquences citées dans le texte peut-être commandée à l'auteur en précisant le système PAL ou SECAM.

## BIBLIOGRAPHIE

BERTRAND J. (sous presse). - La vitesse des diatomées - *Diatom Research.*

BOURRELLY P. 1981 - *Les algues d'eau douce T. II - Algues jaunes et brunes* Paris, Boubée et Cie, 438 p.

CHOLNOKY B. 1927 - Uber die Auxosporenbildung von *Rhoicosphenia curvata* (Kütz.) Grun. *Arch. Protistenk.* 60: 8-33.

DRUM R.W. & HOPKINS J.T., 1966 - Diatom locomotion an explanation. *Protoplasma* 62: 1-33.

EDGAR L.A., 1979a - Diatom locomotion. Computer assisted analysis of cine film - *Brit. Phycol. J.* 14: 83-101.

EDGAR L.A., 1979b - *Diatom Locomotion.* PH. D. Thesis - University of Bristol.

EDGAR L.A. & PICKETT-HEAPS J.D, 1983 - The mecanism of diatoms locomotion an ultrastructural study of the motility apparatus. *Proc. Roy. Soc. London* - B 218: 333-343.

GERMAIN H, 1936 - Les lieux de développement et de multiplication des diatomées d'eau douce. *Bull. Soc. Nat. de l'Ouest* (Thèse de doctorat), 200p., 16 pl. photos.

GERMAIN H, 1981 - *Flore des diatomées - Eaux douces et saumâtres du Massif Armoricain et contrées voisines d'Europe Occidentale* - Paris, Boubée, 444p., 169.pl.

GERMAIN H,. 1984 - The central nodule of *Nitzschia obtusa* Grunow *In* RICARD M. (Ed.), *Proc. 8th Int. Diatom Symp. - Paris aug 84* - Koeltz Koeninsgtein Publ.: 227-235.

GERMAIN H,. 1988 - Dissemblance entre les côtés externes et internes de la valve observée en MEB chez quelques diatomées pennées. *Cryptogamie Algol.* 10 (3):173-179.

GÜTTINGER W. 1987 - *Collection of SEM micrographie of diatoms* - O.KOELTZ Publ. Koeningstein WG - série 1 à 3 - 110 plates.

HARPER M.A., 1967 - *Locomotion of diatom, and climbing of blue green algae.* Ph. D. Thesis. University of Bristol., 171 p.

HARPER M.A., 1977 - Movements. *In* WERNER D. (Ed.), *The biology of diatoms.* Blackwell, Oxford. Publ., pp. 224-249.

HOPKINS J.T. et DRUM R.W, 1966 - Diatom motility an explanation and a problem - *Brit. Phycol. Bull.* 3(1): 63-67.

KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., 1986 - *Bacillariophyceae Vol. 1 -Naviculaceae, In* Pascher's Süsswasserflora von Mitteleuropa Band 2/1, 876p.

LANGE-BERTALOT H., 1980 - Ein Beitrag zur Revision des Gattungen *Roicosphenia* Grun., *Gomphonema* Ag., *Gomphoneis. Bot. Notiser* 133: 585-594.

LARRALDE J.P., 1981 - *Mécanique statique - méthode graphique.* Paris, Masson, 200 p.

MANN D.G., 1982a - Structure life history and systematics of *Rhoicosphenia* (Bacillariophyta) I - Vegetative cell of *Rh. curvata. J. Phycol.* 18: 162-176.

MANN D.G., 1982b - Structure life history and systematics of *Rhoicosphenia* (Bacillariophyta) II - Auxospore formation and perizonium structure of *Rh. curvata. J. Phycol.* 18: 264-274.

MANN D.G., 1984 - Structure life history and systematics of *Rhoicosphenia* (Bacillariophyta) V. Initial cell and size reduction in *Rh. curvata* and a description of Roicospheniaceae *fam nov. J. Phycol.* 20: 544-555.

MEDLIN L.K & FRYXELL G.A., 1984 - Structure life history and systematics of *Rhoicosphenia* (Bacillariophyta) 3 - *Rhoicosphenia adolphi* and its relationship to *Rhoiconeis. In* MANN D.G. (Ed.) *Proc. 7th in Diatom Symp. Philadelphia.* 1982 KOELTZ publ., pp. 255-264.

MÜLLER O., 1894 - Die Ortsbewegung der Bacillariaceen betreffend. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, 12: 136-143.

NULTSCH W., 1962 - Über das Bewegunsverhatten der Diatomeen. *Planta* 58: 22-33.

RICARD M., 1987 - *Atlas du phytoplancton marin - Vol. II - Diatomophycées* Paris, CNRS, 297 p.

ROUND F.E., CRAWFORD R.M. & MANN D.G., 1990 - *The diatoms. Biology & morphology of the genera.* Cambridge Univ. Press, 747p.

VOILQUIN M., 1989 - *Géométrie descriptive* Paris, Dunod - T1, 280p. - T2, 364 p.

# ÉTUDE SUR LA SUCCESSION D'ESPÈCES PHYTOPLANCTONIQUES MARINES EN BASSINS DE CULTURE EXTÉRIEURS

I. DAVRINCHE, F. AUSCHER et J. COSSON

Laboratoire d'Algologie fondamentale et appliquée,
Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 14000 Caen,
France.

RÉSUMÉ - Le développement de populations phytoplanctoniques naturelles d'origine marine en bassins de culture extérieurs a été suivi sur une période de deux ans. L'enrichissement en sels nutritifs (azote, phosphore et silice) oriente les cultures vers la production de Diatomophycées. Le maintien de ces apports à des concentrations non limitantes, ainsi que l'homogénéisation du milieu empêchant les phénomènes de stratification, permettent de limiter l'influence des facteurs environnementaux aux éléments climatiques. Les rôles respectifs de la température et de l'éclairement sont observés. Le suivi parallèle des développements phytoplanctoniques en mer apporte une information complémentaire concernant la succession des espèces dans les cultures.

ABSTRACT - Growth of marine phytoplanktonic populations from natural origin was studied during two years in outdoor cultures. Enrichment with nitrogen, phosphorus and silicon leads to a diatom production. Respective roles of temperature and solar radiations are clearly observed since nutrient concentrations were never limitant and stratification avoided due to culture homogeneisation. Parallel observations of phytoplanktonic blooms in the sea bring further information on species successions in cultures.

MOTS CLÉS : cultures, Diatomophycées, température, rayonnement, successions phytoplanctoniques.

## INTRODUCTION

Les cultures en masse de microalgues marines sont étudiées depuis de nombreuses années à des fins d'utilisation aquacole dans la nutrition de bivalves marins (Persoone & Claus, 1980) ou de production de molécules organiques (colorants, acides gras, vitamines - Aaronson *et al.*, 1980).

Pour des raisons économiques évidentes (structures, emplacement, énergies lumineuse et thermique) elles se font le plus souvent en milieu extérieur, étant ainsi soumises aux variations des facteurs climatiques. Il n'est donc pas possible, la plupart du temps (sauf dans des conditions de

température ou de salinité particulièrement favorables à une espèce donnée comme *Dunaliella salina* (Dunal) Teodoresco, d'envisager la culture en continu d'une espèce unique tout au long de l'année.

Ainsi différents auteurs travaillant sous climat tempéré ont observé des successions d'espèces: De Pauw *et al.* (1983) ont obtenu, en bassins de culture de $100m^3$ ($100m^2$ x 1m) et de $50m^3$ ($100m^2$ x 0,5m), les blooms successifs de six espèces de Diatomophycées sur un cycle annuel; Riva & Lelong (1981) ont également mis en évidence le développement de cinq à six espèces dans des bacs de $33m^3$ ($18m^2$ x 1,85m), sur une durée de dix mois. Seuls Goldman & Mann (1980) ont clairement établi un modèle saisonnier répétitif de succession des espèces en culture de $13,5m^2$ ($15m^2$ x $\simeq$ 1m), avec la dominance de *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve à des températures inférieures à 10°C, remplacée par *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin entre 10°C et 23°C.

Il nous est par conséquent apparu indispensable, par rapport aux activités aquacoles de la région Bas-Normande et en préalable à une production en masse de microalgues marines, d'établir la liste des espèces susceptibles de se développer en bassins et d'étudier leur ordre de succession en fonction des caractères écophysiologiques du milieu, ainsi que l'éventuelle reproductibilité de ces cultures.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les expériences ont été menées en 1987 et 1988 à la station de Biologie marine de Luc-sur-mer (Calvados - France).

Les cultures sont effectuées dans des bassins d'un volume de $1,9m^3$ ($3,2m^2$ x 0,6m de profondeur) situés en extérieur et bénéficiant d'une exposition plein sud. Elles sont soumises aux variations des conditions climatiques: température, insolation, pluviométrie.

Afin d'éliminer les particules de sable en suspension qui rendent l'eau pompée dans la zone littorale de Luc-sur-mer particulièrement turbide, cette dernière est préalablement filtrée sur mousse de polyester puis stockée dans un réservoir de décantation avant d'être distribuée dans les bassins de culture. L'eau alimentant les cultures est constituée d'un mélange de 3/4 d'eau de mer ainsi traitée et 1/4 d'eau de mer non filtrée; ce mélange permet d'apporter une partie des espèces phytoplanctoniques des eaux littorales qui auraient été retenues au niveau des filtres en raison de leur taille.

L'eau est enrichie en sels nutritifs: azote et phosphore à partir d'engrais agricoles (nitrate d'ammonium à 33% d'azote et superphosphates à 45% de $P_2O_5$), silice sous forme de métasilicate de sodium liquide. Les apports en sels minéraux sont effectués à la suite des dosages de façon à réajuster le rapport N/Si/P = 10/10/1 (moles) choisi pour les cultures. Le rapport N/Si = 1 (moles) est celui préconisé pour la majorité des diatomées (Officer & Ryther, 1980). Le rapport N/P = 10/1 (moles) est celui qu'emploient différents auteurs comme Guérin-Ancey *et al.* (1978), testant divers engrais agricoles, ou Cosson (1987), dans la confection de milieux de culture.

Aération et homogénéisation des cultures sont assurées par un système d'exhausteurs.

Le suivi des cultures est effectué tous les deux jours par une série de mesures à deux niveaux:

**Niveau physico-chimique**

Les concentrations en sels nutritifs ($NO_3$, $NO_2$ et $NH_4^+$ pour l'azote inorganique, $SiO_2$ pour la silice et $PO_4^{-}$ pour le phosphore) sont dosées par des méthodes colorimétriques utilisant les kits Spectroquant Merck. Ces derniers, prévus pour une utilisation en eaux douces, deviennent moins précis en eau de mer en raison de la présence, en grandes quantités, de certains ions comme le chlore. Nous avons donc été amenés à diluer l'eau prélevée afin de réduire la part d'incertitude qu'apporte ce phénomène dans nos mesures. Par ailleurs, l'utilisation de ces kits se justifie dans la mesure où les dosages pratiqués sont destinés à une évaluation rapide des variations des différents éléments afin qu'ils ne constituent pas un facteur limitant.

La pression partielle en oxygène et le pH des cultures sont mesurés *in situ*; la température est enregistrée en continu par une sonde thermique immergée. Le rayonnement global en intensité et en durée est fourni par la météorologie nationale (station de Carpiquet).

**Niveau biologique**

L'observation des espèces au microscope optique est d'abord effectuée sur le vivant. Puis une partie du prélèvement est fixée par le Lugol et utilisée pour la détermination des espèces (microscope optique à contraste interférentiel et microscopie électronique dans quelques cas délicats) et leur comptage à l'aide d'un hématimètre de Malassez, de façon à déterminer les concentrations cellulaires des cultures.

Un renouvellement partiel du milieu est opéré dans le seul but de maintenir la culture en phase stationnaire et d'éviter son effondrement rapide lorsque la densité algale limite la pénétration de la lumière (self-shading). A la fin d'une expérience, dont la durée varie de 1 à 3 mois, les bassins sont entièrement vidés et nettoyés avant d'être remis en eau.

## RÉSULTATS

**Evolution des densités cellulaires**

Tout au long de ces deux années d'expérience les cultures sont caractérisées par la dominance des populations de Diatomophycées par rapport aux espèces flagellées également présentes, avec cependant quelques variations. En effet, alors que de janvier à septembre les proportions de diatomées restent constamment supérieures à 90% du nombre total de cellules algales, elles se situent entre 55% et 63% seulement d'octobre à décembre (figure 1).

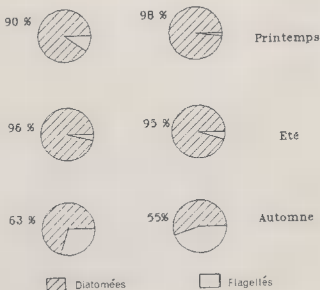



Figure 1 - Pourcentages de diatomées et de phytoflagellés dans les cultures en fonction des saisons.

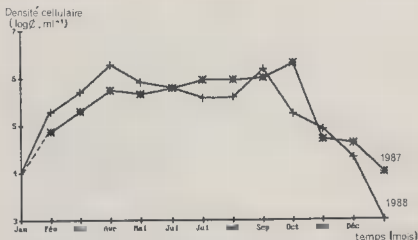



Figure 2 - Evolution de la biomasse des diatomées pour les années 1987 et 1988.

Cette variation est liée à l'évolution de la biomasse des diatomées au cours du temps, celle des flagellés évoluant peu. Les densités cellulaires (exprimées en nombre de cellules par ml.) des populations de diatomées sont en effet minimales en décembre, avec une concentration cellulaire

moyenne de $10^3$ cellules.ml$^{-1}$, et maximales au printemps et en été, avec une concentration cellulaire moyenne de $10^{-6}$ cellules.ml$^{-1}$ (figure 2).

Cette évolution est identique pour les deux années, à quelques différences près: la quantité de cellules obtenue lors du bloom printannier de mars 88 est trois fois plus grande que celle estimée en mars 87; par ailleurs les biomasses estivales maximales sont décalées d'un mois en 1987 et 1988 (figure 2).

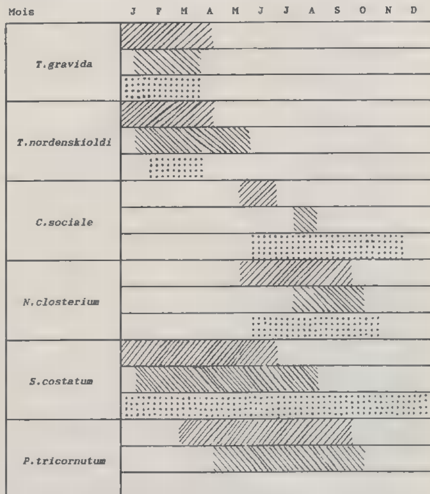



Figure 3 - Calendrier de succession des espèces dans le temps pendant les années 1987 et 1988. (Présence des espèces . . . en mer, /// dans les bassins en 1987, \\\ dans les bassins en 1988).

**Evolution de la composition spécifique**

Au sein des Diatomophycées on constate la dominance (considérée comme telle lorsqu'une espèce représente 80% et plus de la population algale) de six espèces qui se succèdent dans les bassins de culture suivant le même ordre au cours des deux années d'expérimentation (figure 3).

*Thalassiosira gravida* Cleve et *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve, présentes respectivement de janvier à mars et de février à mars, sont à l'origine des blooms printaniers d'hiver et de début de printemps. *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, présente de novembre à juillet, est responsable des blooms obtenus de mars à juin 87 et même dès le mois de février en 88, en association avec *Thalassiosira gravida* puis *Thalassiosira nordenskioldii*.

*Chaetoceros sociale* Lauder qui apparaît en juin est responsable des floraisons importantes mais de très courte durée (48 à 72 heures) notées à la fin du printemps puis laisse la place à *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) W. Smith.

Cette dernière domine dans les cultures pendant toute la période estivale avec une biomasse maximale en septembre 87 décalée au mois d'août en 88, où elle est associée à *Phaeodactylum tricornutum*, présente de mars à octobre, avec des biomasses importantes (de l'ordre de $10^{-5}$ cellules.$ml^{-1}$) en juillet et août seulement.

Des récoltes hebdomadaires de phytoplancton effectuées dans les eaux littorales de Luc-sur-mer au cours de ces deux années ont permis d'associer

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| *Actinoptychus undulatus* Kützing | + | | |
| *Asterionella glacialis* Castracane | + | | |
| *Bidulphia aurita* (Lyngbye) de Brébisson | + | + | |
| *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg | + | + | |
| *Coscinodiscus curvatulus* Grunow in Schmidt | + | + | |
| *Coscinodiscus wailesii* Gran et Angst | ++ | + | |
| *Ditylum brightwellii* (T.West) Grunow | + | + | |
| *Eucampia zodiacus* Ehrenberg | + | | |
| *Grammatophora serpentina* Ehrenberg | + | | |
| *Melosira nummuloïdes* Agardh | + | + | |
| *Melosira sulcata* (Ehrenberg) Kützing | + | + | |
| *Plagiogramma brockmanni* Hustedt | + | | |
| *Pleurosigma sp.* | + | | |
| *Thalassionema nitzschoïdes* Hustedt | + | + | |
| *Thalassiosira gravida* Cleve | + | ++ | + |
| *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve | ++ | ++ | ++ |
| *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve | + | + | ++ |

Tableau 1 - Principales espèces de Diatomophycées présentes dans les eaux côtières de Luc-sur-mer et dans les bassins de culture aux mois de mars 1987 et 1988. (Colonne 1: espèces présentes dans les eaux de la frange littorale à moins d'1km du rivage; colonne 2: espèces présentes dans les bassins en début d'expérience; colonne 3: espèces qui se développent dans les bassins. - + + nombreux individus; + quelques individus).

à ce calendrier de succession des espèces en bassins celui de ces mêmes espèces observées en mer (figure 3). Nous notons que l'ordre de succession est identique en mer et dans les bassins, en 87 et en 88. Cependant, comme le montre le tableau I sur l'exemple des mois de mars 1987 et 88, on constate qu'un certain nombre d'espèces présentes en faibles quantités dans les eaux littorales ne sont pas retrouvées dans les bassins. D'autre part, parmi celles qui figurent dans les cultures en début d'expérience, un grand nombre

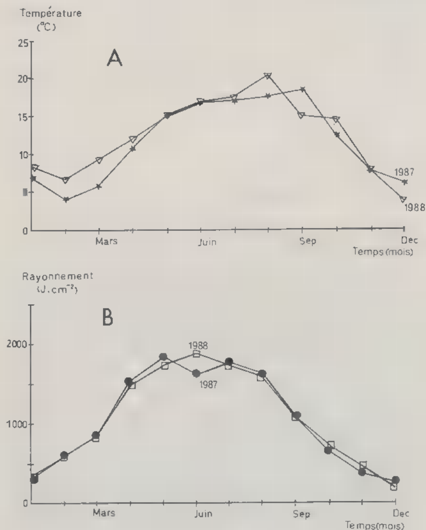



Figure 4 - A: Températures mensuelles moyennes au cours des années 1987 et 1988. B: Rayonnement global mensuel moyen au cours des années 1987 et 1988.

ne se développe jamais (c'est le cas de la diatomée *Coscinodiscus wailesii* Gran et Angst).

**Evolution des facteurs environnementaux**

L'évolution saisonnière des températures est globalement identique en 1987 et en 1988 avec des valeurs qui s'échelonnent de -2°C en février à +28°C en août (figure 4A).

Cependant, les températures moyennes relevées de janvier à mars 88 (entre 6,6°C et 9,3°C) sont plus élevées que de janvier à mars 87 (entre 4°C et 5,8°C) et le maximum est enregistré en septembre en 87 (18,5°C) et un mois plus tôt en 88 (20,5°C).

Le rayonnement global journalier varie de 80 à 2800 $J.cm^{-2}$ de décembre à juillet, l'évolution des courbes du rayonnement est la même pour les deux années (figue 4B).

La salinité de l'eau de mer évolue entre 24‰ et 30‰ selon la saison; aucune variation brutale due à la pluie n'a été enregistrée. Le pH des cultures varie entre 7 et 9,5 en hiver et entre 8 et 10 en été. La pression partielle en oxygène reste toujours à saturation.

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

L'apport de silice dans les cultures en proportion égale à celle de l'azote favorise manifestement le développement des diatomées par rapport aux autres groupes du phytoplancton.

L'enrichissement en sels nutritifs étant le même durant toute l'année, les importantes variations de biomasse enregistrées dans la composition des peuplements de Diatomophycées produites dans les bassins apparaissent liées à des facteurs saisonniers externes comme les cycles saisonniers du rayonnement lumineux et de la température (figure 5). L'augmentation de biomasse observée dès le mois de janvier est en effet étroitement corrélée au paramètre éclairement, à la fois en intensité lumineuse et en durée quotidienne.

Par contre, l'effondrement de la biomasse en automne correspond à la fois à la baisse du rayonnement global et à celle de la température (figure 5), les rôles des facteurs lumière et température étant alors difficilement dissociables (De Pauw *et al.*, 1983).

Il est cependant généralement admis que la température joue un rôle mineur dans la production primaire (Eppley, 1972; Goldman *et al.*, 1976; Regan & Ivanic, 1984); or il semble que certaines fluctuations de la biomasse observées dans nos cultures soient pourtant liées aux variations de la température: ainsi les fortes biomasses obtenues en mars 1988 supérieures à celles obtenues à la même époque en 1987 correspondent à des températures moyennes également nettement plus élevées, les valeurs de rayonnement étant très proches, respectivement 822 $J.cm^{-2}$ et 850 $J.cm^{-2}$. De même en période estivale pour des intensités lumineuses stationnaires aux

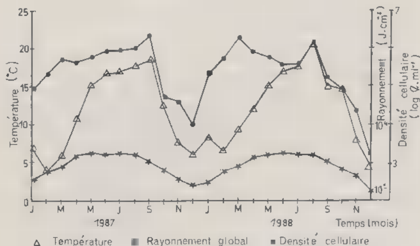



Figure 5 - Evolutions comparées du rayonnement global, de la température et de la biomasse au cours des années 1987 et 1988.

alentours de 1600 à 1700 J.cm$^{-2}$, les densités cellulaires maximales coïncident exactement avec les températures maximales.

L'observation des espèces constitutives des cultures montre qu'aux variations saisonnières de la biomasse des diatomées se superposent des changements de composition spécifique des populations. Ces derniers, liés à la dynamique de succession des espèces en mer (figure 3), évoluent sous l'action déterminante de la température (Goldman *et al.*, 1980).

L'espèce *Skeletonema costatum*, connue pour provoquer d'importantes floraisons en mer (Bonin *et al.*, 1986), est présente toute l'année dans les eaux littorales du Calvados en quantité peu abondante. Elle atteint par contre de fortes densités cellulaires dans les bassins de culture, pouvant entraîner d'importantes variations de biomasse entre deux années pour une même période, comme c'est le cas en mars 88 et mars 87. Ainsi en mars 1987, les températures basses et les intensités lumineuses faibles favorisent, comme l'ont observé Durbin (1974) ainsi que Grall & Jacques (1964), la croissance de *Thalassiosira nordenskioldii* au détriment de *Skeletonema costatum*, qui doit attendre de meilleures conditions (Yoder, 1979) pour se développer, d'où la succession constatée entre ces deux espèces. Par contre, en mars 88, en raison des températures plus élevées qu'en 1987, la croissance de *Thalassiosira* se trouve réduite, permettant de ce fait l'installation et le développement concommittant de *Skeletonema*. En conséquence, par la présence de ces deux espèces, les biomasses relevées en mars 88 sont supérieures à celles relevées en mars 1987.

*Chaetoceros sociale* fait partie des espèces communes dans les zones tempérées en période de réchauffement de la température (Guillard &

Kilham, 1977). Nous l'avons en effet observée dans les cultures dès le mois de juin et en mer pendant tout l'été.

Les biomasses estivales maximales correspondant aux températures maximales sont le fait de la diatomée *Nitzschia closterium*. *Phaeodactylum tricornutum*, bien que n'ayant jamais été observée dans nos relevés de plancton en mer, est cependant présente dans les bassins durant une grande partie de l'année. Mais cette espèce, pourtant connue pour sa capacité à dominer dans les cultures de populations naturelles (Bonin *et al.*, 1986; Goldman, 1977), ne se développe dans les bassins qu'à des températures comprises entre 15°C et 20°C, et ce, soit suite à l'effondrement d'un bloom de diatomées, soit dans une culture non enrichie en silice; c'est-à-dire dans des conditions d'absence de compétition.

Les observations de Goldman & Ryther (1976) montrant la capacité de cette espèce à dominer d'autres diatomées à taux de division rapide comme *Skeletonema costatum* à des températures comprises entre 15°C et 20°C semblent en désaccord avec cette observation. Cependant, l'utilisation d'un rapport N/Si faible favorable à la diatomée *Skeletonema costatum* (De Pauw *et al.*, 1983) explique en partie la dominance de cette dernière sur *Phaeodactylum*, même à des températures supérieures à 10°C (mois de mai) et les taux de division relativement faibles observés pour une espèce de petite taille comme *Phaeodactylum* (Bonin *et al.*, 1986), concourent également à expliquer qu'elle ne réussisse à dominer qu'en l'absence de compétition avec une autre diatomée à taux de multiplication rapide.

Les espèces de petite taille à taux de croissance élevé (*Thalassiosira nordenskioldii*) se développent donc en premier, comme dans le milieu marin (Lebour, 1930; Hendey, 1964). Elles demeurent par contre prépondérantes dans les bassins tant que les conditions du milieu leur sont favorables, empêchant le développement des espèces à croissance plus lente, contrairement à ce qui est observé en mer où s'imposent divers *Chaetoceros* et *Coscinodiscus*.

Il semble donc qu'en bassins, l'absence de stratification des couches d'eau, l'absence de prédateurs phytophages et la présence continue de sels nutritifs en quantités non limitantes favorisent essentiellement ces espèces caractéristiques des premières étapes des successions phytoplanctoniques en mer (Guillard & Kilham, 1977).

Nous avons donc établi que le développement de populations phytoplanctoniques naturelles en bassin extérieurs est directement lié à la dynamique de succession des espèces en mer. Mais alors qu'en milieu naturel la compétition est régie par la conjugaison de nombreux facteurs (prédation, épuisement des sels nutritifs, stratification des couches d'eau, ...), en bassins, où l'apport en nutriments est constant, les phénomènes de compétition sont essentiellement régis par les facteurs climatiques, les variations du rapport N/Si/P et sans doute les phénomènes d'inhibition interspécifiques dûs au relargage de substances organiques. Les espèces initiatrices des floraisons en mer, qui se succèdent dans les cultures, continuent à se multiplier dans les bassins tant que les facteurs climatiques leur sont favorables. La température constitue à cet égard un facteur primordial dans la

régulation des successions d'espèces en culture, la lumière agissant principalement en tant que facteur limitant sur le développement de la biomasse.

Le cycle annuel de la température et la dynamique de succession des espèces en mer étant des phénomènes stables d'une année sur l'autre pour une région donnée, il est alors permis, dans les conditions expérimentales utilisées, d'extrapoler ces résultats à une durée supérieure à ces deux années.

REMERCIEMENTS: les auteurs remercient le Prof. J.M. Robert pour ses suggestions très appréciées.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AARONSON S., BERNER T. & DUBINSKY Z., 1980 - Microalgae as a source of chemical and natural products. *In* SHELEF G. & SOEDER C.J. (Eds.), *Algae biomass*. Elsevier, pp. 575-601.

BONIN D.J., DROOP M.R., MAESTRINI S.Y. & BONIN M.C., 1986 - Physiological features of six microalgae to be used as indicators of seawater quality. *Cryptogamie, Algol.* 7(1): 23-83.

COSSON J., 1987 - Croissance des sporophytes résultant d'hybridations interspécifiques et intergénériques chez les Laminariales. *Cryptogamie, Algol.* 8(1): 61-72.

DE PAUW N., VERBOVEN J. & CLAUS C., 1983 - Large-scale microalgae production for nursery rearing of marine bivalves. *Aquacultural Engineering* 2: 27-47.

DURBIN E.G., 1974 - Studies on the autecology of the marine diatom *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve. The influence of daylength, light intensity, and temperature on growth. *J. Phycol.* 10: 220-225.

EPPLEY R.W., 1972 - Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull. Fish. Wildl. Serv. U.S.* 70: 1063-1085.

GOLDMAN J.C., 1977 - Biomass production in mass cultures of marine phytoplankton at varying temperatures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 27: 161-169.

GOLDMAN J.C. & MANN R., 1980 - Temperature-influenced variations in speciation and chemical composition of marine phytoplankton in outdoor mass cultures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 46: 29-39.

GOLDMAN J.C. & RYTHER J.H., 1976 - Temperature-influenced species competition in mass cultures of marine phytoplankton. *Biotechnology and Bioengineering* 23: 1125-1144.

GRALL J.R. & JACQUES G., 1964 - Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff. *Cah. Biol. Mar.* 5: 423-455.

GUERIN-ANCEY O., MAESTRINI S.Y. & BEKER L., 1978 - Utilisation d'engrais agricoles comme source de nutrilites pour la culture massive de quelques algues marines. Congrès ECOTRON, C.O.B., Brest, *Publ. Sci. Tech. CNEXO: Actes Colloque* 7: 285-304.

GUILLARD R.L. & KILHAM P., 1977 - The ecology of marine planktonic diatoms. *In* WERNER D. (Ed.), *The biology of diatoms*, 12, pp. 373-469.

HENDEY I., 1964 - *An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Part V. Bacillariophyceae (diatoms)*. Ed. London: Her Majesty's stationnery office.

LEBOUR M.V., 1930 - *The planktonic diatoms of Northern seas. Ed. Ray Society, Volume 116 of the series*, London.

OFFICER C.B. & RYTHER J.H., 1980 - The possible importance of silicon in marine eutrophication. *Marine Ecology*, 3: 83-91.

PERSOONE G. & CLAUS C., 1980 - Mass culture of algae: a bottleneck in the nursery of mollusc. *In* SHELEF G. & SOEDER C.J. (Eds.), *Algae biomass*. Elsevier, pp. 265-285.

REGAN D.L. & IVANCIC N., 1984 - Mixed populations of marine microalgae in continuous culture: factors affecting species dominance and biomass productivity. *Biotechnology and Bioengineering* 26: 1265-1271.

RIVA A. & LELONG P., 1981 - Growth of juvenile bivalve molluscs associated with continuous cultures of natural marine phytoplankton. *In* CLAUS C., DE PAUW N. & JASPERS E. (Eds.), *Nursery culturing of bivalve molluscs*, 7, pp. 253-268.

YODER J.A., 1979 - Effect of temperature on light-limited growth and chemical composition of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae). *J. Phycol.* 15: 362-370.

# THE DISTINCTION OF *CERAMIUM GIACCONEI* SP. NOV. (CERAMIALES, RHODOPHYTA) IN THE MEDITERRANEAN SEA FROM *CERAMIUM CINGULATUM*

Mario CORMACI and Giovanni FURNARI

Istituto e Orto Botanico dell'Università,
via Longo 19, 95125 Catania, Italy

ABSTRACT - The examination of the type specimen of *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse indicates that material from the Mediterranean Sea identified as that species is different and belongs to a new species here described: *Ceramium giacconei* sp. nov. The main features of this new species are: erect axes 1-2mm high, club-shaped, simple; cortication complete over all the thallus except in the lowermost part, where it is restricted to the nodes.

RÉSUMÉ - L'examen critique de l'exemplaire type du *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse montre que les spécimens méditerranéens, rapportés jusqu'à présent à cette espèce par plusieurs auteurs, sont différents de celle-ci. Ils appartiennent en réalité à une espèce nouvelle, *Ceramium giacconei* sp. nov., dont les caractères les plus importants sont: les axes dressés, hauts de 1 à 2mm, en forme de massue, non ramifiés; la cortication continue, sauf vers la base du thalle, où elle est limitée aux noeuds.

KEY WORDS : *Ceramium giacconei* sp. nov., *Ceramium cingulatum*, Ceramiaceae, Mediterranean Sea.

## INTRODUCTION

The genus *Ceramium* Roth 1797 is well represented in the Mediterranean Sea. Feldmann-Mazoyer (1940), in her monograph of the Ceramiaceae for this sea, reported 14 species of *Ceramium* (some with different varieties) nearly all widely distributed within this area. In addition to these species, some others of doubtful taxonomic merit have to be added: *C. radiculosum* Grunow (Hauck, 1885), *C. leptocladum* Schiffner (Schiffner, 1931), *C. pleurosporum* Schiffner, *C. pseudostrictum* Schiffner, *C. vatovai* Schiffner (Schiffner, 1938), *C. hellenicum* Giaccone (Giaccone, 1968), as well as other species recorded more recently, viz: *C. fastigiatum* (Roth) Harvey (Boudouresque, 1984; Ribera, 1984); *C. fastigiatum* var. *flaccidum* (Børgesen) Petersen (Giaccone, 1978; Coppejans, 1983; Verlaque, 1984; Barceló, 1987); *C. fruticulosum*

(Kützing) J. Agardh (Gallardo *et al.*, 1985); *C. deslongschampsii* Chauvin[1] (Gómez-Menor & Fuertes Lasala, 1982; Güven & Öztig, 1971; Aysel *et al.*, 1983.

*Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse was first recorded from the Mediterranean Sea by Coppejans (1977, 1979 and 1983). This species was formerly known only from the Indian Ocean (Straits of Sapeh, Makassar: Weber-van Bosse, 1923; Tanzania: Jaasund, 1970; Somalia: Sartoni, 1974) and the South Chinese Sea (Pham-Hoang, 1969). More recently, it was recorded (with some doubt) by Verlaque & Tiné (1981) from Tolone and by Ballesteros (1984) and Barceló & Boisset (1986) from the Spanish Mediterranean coasts.

*Ceramium cingulatum* has been recently recorded also from Italy, along the Ionian coast of Sicily (Cormaci & Motta, 1989) as well as along the coasts of Lazio (Abdelahad & Biliotti, 1990) and Sardinia (Cecere, pers. comm.).

But Cormaci & Motta (1989) pointed out that their thalli (both those collected in field and those grown in culture), which were very similar to the species described and illustrated by Coppejans (1977, 1983) and Barceló & Boisset (1986) as *Ceramium cingulatum* (Fig. 10), are quite different from Weber-van Bosse's description of *Ceramium cingulatum* (Weber-van Bosse, 1923); so, they referred their thalli to this species with some doubt. In order to explain the above-mentioned taxonomic doubt, it has been considered opportune to carry out a study based on the examination of the type material of *Ceramium cingulatum*. This study permits us to conclude that the Mediterranean alga identified as *Ceramium cingulatum* represents a new species herein described.

## MATERIALS AND METHODS

The following material has been studied:

*Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse, type material, Makassar Sept. 1888. Rijksherbarium L. 8268 n. 1. The herbarium sheet has got another label where there is written: *Ceramium cingulatum* f. *major* on *Gracilaria* ? But Weber-van Bosse (op. cit.) does not speak about any f. *major*; but on page 333 she indicated that she found on the thallus of an apparent *Gracilaria* additional *Ceramium cingulatum* that "...ne se distinguait du *Ceramium cingulatum*, étudié auparavant, que par sa plus grande taille".

*Ceramium cingulatum* on *Echinocaulon (Gelidiopsis) rigidum* collected at stat.: 49 (Makassar) by Weber-van Bosse. Rijksherbarium L. 8846 (in spirit). Only few thalli, not complete.

(1) However the occurrence of this species in the Aegean Sea is regarded as doubtful by Athanasiadis (1987).

*Ceramium cingulatum:* a specimen with spermatocysts[2] without the basal portion (Fig. 18), collected by Sartoni at Sar Uanle (Somalia) in October 1972 and preserved in formalin-seawater solution.

*"Ceramium cingulatum"* collected in field and obtained in culture by Cormaci & Motta (1989) and preserved in formalin-seawater solution.

For microscopic observations, some specimens were stained on glass slides with 1% aqueous aniline blue acididied with dilute HCl which enhances pit connections.

## OBSERVATIONS AND DISCUSSION

### *Ceramium giacconei* sp. nov.

**Diagnosis**

*Plantae epiphyticae; axibus erectis, substrato adfixis rhizoideis basalibus, usque ad 2mm altis, simplicibus, clavaeformibus, basi 70-80µm, medio 170-350µm diametro, apicibus attenuatis. Axes, articulis basalibus corticatione zonata exceptis, omnino corticati e cellulis isodiametricis (20-25µm) aequaliter distributis. (4-6) 8 cellulae pericentrales in quoque segmento. Quattuor cellulae corticalium filorum initiales (duo anteriores duoque posteriores) ex quaque cellula pericentrale generatae. In segmentis basalibus, unum obliquum corticale filum (1-2 cellulis) ab unaquaque cellula initiali anteriore effectum est, nullum a cellula initiali posteriore. In ceteris omnino corticatis segmentis, unaquaeque cellula initialis anterior quattuor corticalia fila efficit: duo ascendentia longa et ramosa, duo descendentia breviora (1-3 cellulis). Unaquaeque cellula initialis posterior quattuor corticalia fila efficit, sed contra, duo ascendentia brevia (1-3 cellulis), duo descendentia longiora et ramosa confluentia cum filis ascendentia ex inferiore segmento. Cellulae axiales, basi isodiametricae, medio usque ad duplo latiores quam altiores. Tetrasporangia non exserta, anteridia et procarpia ignota.*

Type locality: Lachea Island (Catania, Italy) epiphytic on *Cystoseira sauvageauana* Hamel at 6 to 12m depth.

Holotype: CAT 519 tetrasporophyte; collected by G. Motta, 20 February 1987 at 12m depth.

Distribution: known from the type locality and Salina Island (Aeolian Islands), NW and W Mediterranean Sea (according to the authors) as *Ceramium cingulatum* (Fig. 1).

The species is dedicated to our friend and colleague Prof. Giuseppe Giaccone.

The thalli consist only of erect axes fixed by means of basal rhizoids, 1-2mm high, not ramified, clavate because of a marked swelling beginning immediately after the first 3-4 basal segments and growing more narrow,

(2) This is the first record of a sexual plant in this species.




Fig. 1: Distribution of *Ceramium giacconei* sp. nov. in the Mediterranean Sea: TL, Type locality; 1, Coppejans (1977); 2, Coppejans (1979); 3, Verlaque & Tiné (1981); 4, Ballesteros (1984); 5, Barceló & Boisset (1986); 6,, this paper; 7, Abdelahad & Biliotti (1990); 8, Cecere (pers. comm.).

more or less abruptly, towards the apex (Fig. 2). While the diameter of the basal segments is quite constant (70-80μm), the swelling of the thalli in the median parts is much more variable (170 to 350μm) (Figs 3, 4).

The cortical cells, polygonal and isodiametric (20-25μm), are distributed in a rather uniform way, completely covering the axial cells (Fig. 5), except in the basal segments, where do they form only nodal cortical bands. (4-6) 8 pericentral cells per segment. Each pericentral cell cuts off two anterior and two posterior initials of cortical filaments. In the basal segments, which show a reduced number of pericentral cells, the posterior initials do not produce any cortical filament, while each anterior initial cuts off only one short cortical filament in the lateral direction (Fig. 7). The pericentral cells remain uncorticated. In all the rest of the thallus, with a continuous cortication, each anterior initial cuts off four (five) cortical filaments: two (three) acropetally, which are long and ramified; two basipetally, shorter (1-3 cells). Each posterior initial cuts off four cortical filaments too; but, on the contrary, the two acropetal are short (1-3 cells), the two basipetal are longer and ramified and cover the internodal zone being confluent with those coming from the inferior segment (Figs 8-9). The pericentral cells remain only partly corticated. The axial cells, more or less isodiametric near the base, are up to 2 times broader than long in the rest of the thallus (Fig. 6).

The tetrasporangia are cruciate-decussately divided[3] and are immersed within the cortex at nodal level, arranged in more or less regular whorls (Fig. 2). Sexual plants are unknown.

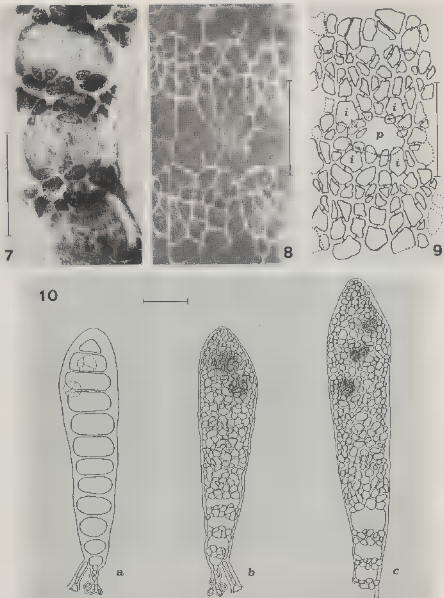
---

(3) tetraedrically divided in Coppejan's and Barceló's specimens.




Fig. 2-6: *Ceramium giacconei* sp. nov. (from Cormaci & Motta, 1989. Figs 2-4: bar equal to 0.5mm; Figs 5-6: bar equal to 200$\mu$m). 2: Habit of a mature tetrasporophyte, epiphytic on *Halopteris filicina* (Grateloup) Kützing. - 3: Habit of a specimen showing a marked swelling. - 4: Habit of a slightly swollen specimen. - 5: Suprabasal part of the thallus showing complete cortication. - 6: Optical section of Fig. 5 showing the axial cells.

On the contrary, *Ceramium cingulatum* shows the following significant differences from *Ceramium giacconei*:




Figs 7-10: *Ceramium giacconei* sp. nov. (bar equal to 100$\mu$m). - 7: Nodal cortication in the basal segments. - 8: Detail of the cortication in the middle part of the thallus. - 9: Schematic drawing of Fig. 8 showing the origin of the cortical filaments on the basis of the observed pit connections. *p*: pericentral cell; *i*: initials of the cortical filaments. - 10: Tetrasporophyte, redrawn from the original papers in which it is reported as *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse: *a* and *b* from Coppejans (1983); *c* from Barceló & Boisset (1986).

1) Each anterior initial of the cortical filaments cuts off only two filaments acropetally; while each posterior initial does only two filaments basipetally (Figs. 12-13).

2) The descending cortical filaments are never confluent with those ascending from the inferior segment, so that an internodal uncorticated band is always present (Fig. 17, 19). Nodal cortication leaves longer internodal spaces in the basal parts of the thallus and shorter in the upper parts (Fig. 16). This character is well shown by Pham-Hoang (op. cit., fig. 2.165) (Fig. 19b, c), but not by Jaasund (op. cit., fig. 3). In fact, the specimens by him illustrated seem rather similar to *Ceramium giacconei*. The material from Tanzania should be re-examined.

3) Mature tetrasporangia clearly protruding (Figs 14-15).

Another difference, but with a minor taxonomic value (Dixon, 1960; Womersley, 1978), concerns the habit. *Ceramium cingulatum* shows creeping axes beginning erect in the terminal parts or producing erect branches (Figs 11 and 19a), whereas *Ceramium giacconei* shows only erect axes never ramified.

It appears probable that both the similarity in the habit of erect axes in these two species and the interpretation of Weber-van-Bosse's phrase "Interstitio angusto, multo minus alto quam zona in parte superiore ramorum ascendentium" as a continuous cortication in the upper parts of the thallus have led workers to mis-identify the thalli from the Mediterranean Sea as *Ceramium cingulatum*.

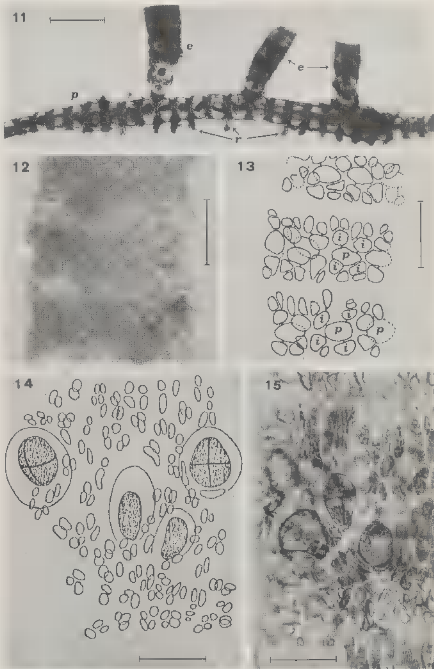
* * *

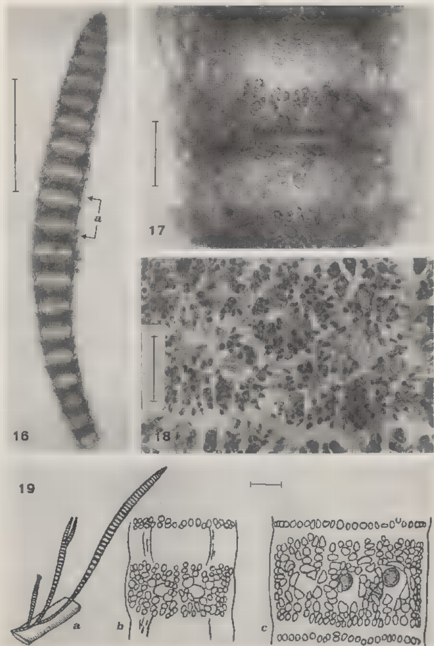
In conclusion, on the basis of the above mentioned considerations, the Mediterranean alga identified by various workers as *Ceramium cingulatum*, is here identified as *Ceramium giacconei*. Moreover, it seems likely that the records of *Ceramium cingulatum* by Verlaque & Tiné (1981) and Ballesteros

---

Figs 11-15: *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse. (Fig. 11, bar equal to 200μm; Fig. 12-15, bar equal to 50μm). - 11-12: specimen collected at station 49 (Makassar) by Weber-van Bosse. Rijksherbarium L. 8846 (in spirit). 11: Habit. *p* prostrate axis; *e* erect axes (fragments); *r* rhizoids. 12: Detail of the cortication of an erect axis. - 13: Schematic drawing of Fig. 12 showing the origin of the cortical filaments on the basis of the observed pit connections. *p* pericentral cell; *i* initials of the cortical filaments. 14: Detail of tetrasporangia (redrawn from Weber-van Bosse, 1923). - 15: Idem from the type material (original).

Figs 16-19 - *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse. (Fig. 16, bar equal to 0.5mm; Figs 17-19 *b-c*, bar equal to 50μm). - 16-18: specimen collected by Sartoni at Sar Uanle, Somalia. 16: Habitat of an erect axis; *a*, see Fig. 17. -17: Detail of the part *a* of Fig. 16 showing the typical nodal cortication. - 18: Detail of male gametophyte showing spermatangia. - Fig. 19: Redrawn from Pham-Hoang (1969); *a* habit; *b* nodal cortication in a basal part of the thallus; *c* cortication in a median segment with tetrasporangia.


11
e
e
e
p
r
12
13
i
p
14
15


16
17
18
19
a
a
b
c

(1984), the former marked by ? and the latter making reference to Coppejan's description (1977), should also be attributed to *Ceramium giacconei*. Therefore, as far as known, *Ceramium cingulatum* does not occur in the Mediterranean Sea.

## ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the Curator of the Rijksherbarium for the loan of *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse; to Gianfranco Sartoni of the Dipartimento di Biologia Vegetale, University of Florence for the loan of *Ceramium cingulatum* from Somalia. This work was supported by a grant from the Italian Ministry of Public Education.

## REFERENCES

ABDELAHAD N. & BILIOTTI M., in press - *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse (Rhodophyta, Ceramiaceae): prima segnalazione per le coste laziali. *Inform. Bot. Ital.*

ATHANASIADIS A., 1987 - *A survey of the seaweeds of the Aegean sea with taxonomic studies on species of the tribe Antithamnieae (Rhodophyta)*. University of Gothenburg, Dept. of Marine Botany. 174 p.

AYSEL V., GÜNER H., SUKATAR A. & ÖZTÜRK M., 1983-1984 - Checklist of Izmir Bay marine algae: I. Rhodophyceae. *Aegean Univ. Fac.Sci. J.* Ser. B. 7(1): 47-56.

BALLESTEROS E., 1984 - Contribucio al coneixement algologic de la Mediterrània espanyola, IV. *Fol. Bot. Misc.* 4: 29-33.

BARCELÓ M.C., 1987 - *Estudi de la flora bentonica marina del Pais Valencià.* Tesi. Univ. Barcel&oaigu2na.

BARCELÓ M.C. & BOISSET F., 1986 - Aportació a l'etudi de les algues del Pais Valencià. *Fol. Bot. Misc.* 5: 71-78.

BOUDOURESQUE Ch. F., 1984 - Groupes écologiques d'algues marines et phytocénoses benthiques en Méditerranée nord-occidentale: une revue. *Giorn. Bot. Ital.* 118 (1-2) suppl. 2: 7-42.

COPPEJANS E., 1977 - Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). XV. *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse nouvelle pour la Méditerranée, et quelques populations d'un *Ceramium* sp. à parasporocystes. *Biol. Jb. Dodonaea* 45: 51-61.

COPPEJANS E., 1979 - Végétation marine de la Corse (Méditerranée). III. Documents pour la flore des algues. *Bot. Mar.* 22 (4): 257-266.

COPPEJANS E., 1983 - Iconographie d'Algues Méditerranéennes. Chlorophyta, Phaeophyta, Rhodophyta. *Bibliotheca Phycologica* Bd 63, J.Cramer, Vaduz.

CORMACI M. & MOTTA G., 1989 - Prima segnalazione di *Ceramium cingulatum* Weber-van Bosse (Rhodophyta, Ceramiaceae) in Italia e osservazioni sul suo ciclo biologico in coltura. *Anales Jard. Bot. Madrid* 46: 55-60.

DIXON P.S., 1960 - Studies on marine algae of the British Isles: the genus *Ceramium*. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 39: 331-374.

FELDMANN-MAZOYER G., 1941 - *Recherches sur les Céramiacées de la Méditerranée.* Alger, 510 p.

GALLARDO T., GOMEZ GARRETA A., RIBERA M.A., ALVAREZ M. & CONDE F., 1985 - A preliminary check list of Iberian benthic marine algae. *Real Jardin Botanico*, Madrid.

GIACCONE G., 1968 - Specie nuove e interesanti di Rhodophyceae raccolte nel bacino orientale del Mediterraneo. *Giorn. Bot. Ital.* 102: 397-414.

GIACCONE G., 1978 - Revisione della flora marina del mare Adriatico. *Parco marino di Miramare*, Trieste.

GÓMEZ-MENOR J.M. & FUERTES LASAL E., 1982 - Contribución al estudio de las algas rojas de la isla de Tabarca (Alicante). *Collectanea Botanica* 13: 865-872.

GÜVEN K.C. & ÖZTIG F., 1971 - Über die marinen Algen an den Küsten der Türkei. *Bot. Mar.* 14: 121-128.

HAUCK F., 1885 - *Die Meeresalgen Deutschlands und Oesterreichs*. Leipzig. 575p.

JAASUND E., 1970 - Marine algae in Tanzania III. *Bot. Mar.*, 13: 65-70.

PHAM-HOANG H., 1969 - *Marine algae of South Vietnam*. Saïgon, 557p.

RIBERA M.A., 1984 - *Estudio de la flora bentonica marina de las Islas Baleares. Resumen de la tesis*. Univ. Barcel&oaigu2na.

ROTH A.W., 1797 - *Catalecta botanica*. T. I, VIII + 244 p. Leipzig.

SARTONI G., 1974 - Contributo alla conoscenza della flora algale bentonica di Sar Uanle (Somalia meridionale). *Giorn. Bot. Ital.* 108: 281-303.

SCHIFFNER V., 1931 - Neue und bemerkenswerte Meeresalgen. *Hedwigia* 31: 139-205.

SCHIFFNER V., 1938 - *Alghe della Laguna, sez. I. In La Laguna di Venezia*, 3: 83-250. Venezia.

VERLAQUE M., 1984 - Biologie des juvéniles de l'oursin herbivore *Paracentrotus lividus* (Lamarck): sélectivité du broutage et impact de l'espèce sur les communautés algales de substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France). *Bot. Mar.* 27: 401-424.

VERLAQUE M. & TINÉ J. 1981 - Marine vegetation of Toulon (Var, France): algae and seagrasses. *Thalassographica*, 4: 5-38.

WEBER-VAN BOSSE A., 1923 - Liste des algues du Siboga. III. Rhodophyceae 2e partie: Ceramiales. *Siboga-Expeditie*, 59c: 310-392.

WOMERSLEY H.B.S., 1978 - Southern Australian species of *Ceramium* Roth (Rhodophyta). *Austral. J. Mar. Freshwater Res.*, 29: 205-257.

# CONCERNING THE NAME *FUCUS MUSCOIDES* (COTTON) J. FELDMANN *et* MAGNE

Michael J. WYNNE[1] and Francis MAGNE[2]

1. Department of Biology, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA.
2. Laboratoire de Biologie Végétale Marine, Université Pierre et Marie Curie, Paris.

ABSTRACT - *Fucus cottonii (nomen nov.)* is proposed to replace *Fucus muscoides* (Cotton) J. Feldmann *et* Magne *(nomen illeg.)*. Reasons are presented to justify the continued recognition of the taxon *F. cottonii* as distinct from *F. vesiculosus* Linn. (including *F. balticus* C. Ag.). *Fucus cottonii* is an attached, usually vegetative, dwarf salt-marsh form, occurring as moss-like coverings in the supralittoral zone and with a distribution on the atlantic coast of France, Britain, Scotland, Norway, and western Ireland.

RÉSUMÉ - Le nom de *Fucus cottonii (nomen nov.)* est proposé à la place de *Fucus muscoides* (Cotton) J. Feldmann *et* Magne *(nomen illeg.)*, et les arguments qui justifient la distinction de ce taxon d'avec *F. vesiculosus* Linné (ce dernier incluant *F. balticus* C. Ag.) sont présentés. *Fucus cottonii* est une forme naine de marais salés, fixée, ordinairement à l'état uniquement végétatif, formant des gazons denses dans la zone supralittorale; elle est présente sur la côte atlantique en France, Angleterre, Écosse, Norvège et Irlande de l'ouest.

KEY WORDS : *Fucus, F. balticus, F. cottonii, F. muscoides, F. vesiculosus*, salt-marsh.

## INTRODUCTION

Feldmann & Magne (1964) elevated Cotton's (1912) var. *muscoides* of *Fucus vesiculosus* Linn. to the species level, but in so doing they created a later homonym of *F. muscoides* Linnaeus (1753), the basionym of the rhodophyte *Acanthophora muscoides* (Linn.) Bory de Saint-Vincent (1828). Since *Fucus muscoides* (Cotton) J. Feldmann *et* Magne *nomen illeg.* continues to appear in recent literature (Cullinane, 1973; Parke & Dixon, 1976; Gallardo *et al.*, 1985; South & Titley, 1986), it seems advisable to rectify this problem. We propose the name *Fucus cottonii* in honor of A.D. Cotton, who was the first to distinguish this alga as an entity. It is also appropriate to analyze the question whether the recognition of this entity as a distinct species of *Fucus* is justified.

## HISTORICAL BACKGROUND

The illegitimate name *Fucus muscoides* (Cotton) J. Feldmann *et* Magne was based on *Fucus vesiculosus* Linn. var. *muscoides* Cotton. Cotton (1912) described this variety as very dwarf, upright-growing form up to 5-6cm tall, with filiform branches, which are fastigiate and densely crowded together. The branches are cylindrical or compressed, 1-3mm wide, not twisted, with marginal cryptostomata. Receptacles are very scarce. The epithet "muscoides" refers to its moss-like habit.

## OBSERVATIONS

When Feldmann & Magne (1964) made the binomial *Fucus muscoides*, they included *Fucus vesiculosus* var. *balticus* in the sense of the Crouans (Crouan & Crouan, 1867). There are indeed some similarities between *F. muscoides* (now *F. cottonii*) and *Fucus balticus* C. Ag. [= *F. vesiculosus* var. *balticus* (C. Ag.) J. Ag.]. So it is necessary to clarify the relations of *F. muscoides*/*cottonii* with *F. balticus* on the one hand and with *F. vesiculosus* on the other hand.

### Relation to *Fucus balticus* C. Ag.

The name *Fucus balticus* originated with C. Agardh (1814), who described[1] it as "frons plana dichotoma obsolete costata, tuberculis marginalibus", citing a collection made by Stenhammar "in mare Baltico ad littus orientale Sveciae". C. Agardh (*in* Palmstruch, 1816, pl. 516. figs a, b, c & e) depicted his *Fucus balticus*. Later, C. Agardh (1817) recognized a number of varieties of *Fucus vesiculosus*, one being [zeta] *subecostatus*, which included his own *Fucus balticus* in taxonomic synonymy.

We have located two specimens attributable to *Fucus balticus* C. Agardh. In the Herbarium of Bory de Saint-Vincent in PC is a single specimen labeled " *Fucus Balticus* mihi". Additional etiquette indicates that it was collected "ad littora maris Balt." and sent by Hornemann to Bory de Saint-Vincent. The specimen itself is only 15mm tall. Kützing (1860) depicted *Fucus balticus* on the basis of authentic material then located in the Sonder herbarium. Mrs . D.M. Sinkora of the National Herbarium of Victoria has confirmed that such a syntype specimen is now in MEL.

In their extensive survey of salt-marsh Fuci in the British Isles, Baker & Bohling (1916) concluded that earlier records of *F. balticus* from the British Isles, such as by Greville (1826) and Batters (1890), were based on mis-identifications. They asserted that the name *Fucus balticus* is not applicable to any of the British salt-marsh Fuci.

---

[1] C. Agardh cited with a query *Fucus angulatus* of S.G. Gmelin (1768, p. 112).Gmelin listed "Mare mediterraneum" and "Anglicum" as the provenances of his *F. angulatus;* a description was provided, but no plate. The current status of *F. angulatus* is uncertain; it did not appear in Turner (1808-1819) nor in De Toni (1895, 1897-1903).

Baker & Bohling (1916) recognized within *Fucus vesiculosus* a section of loose-lying forms and a section of salt-marsh forms. Within the loose-lying forms they recognized ecad *subecostatus*, corresponding to the original *Fucus balticus*. Ecad *subecostatus* included plants that occur in the sublittoral of still water (e.g., the Baltic Sea), on the sea-bottom, from 8-20m depth and are always sterile. Svedelius (1901), Levring (1940), and Waern (1952) have provided accounts of this community. It is clear from the literature that *F. balticus* [= *F. vesiculosus* ecad *subecostatus* ] is a non-attached form (Sauvageau, 1908) and thus separable from *F. muscoides sensu* Feldm. *et* Magne. The section of *F. vesiculosus* containing salt-marsh forms was comprised of three ecads: ecad *volubilis*, which included the relatively large, spirally twisted plants; ecad *caespitosus*, which included the turf-like plants (and those British collections previously mis-identified as *F. balticus*), and ecad *muscoides*, which included the filiform plants, that is, *F. vesiculosus* var. *muscoides* of Cotton (1912). Plants of ecad *caespitosus* were dwarf, prostrate or erect, showing little or no curling, lacking midrib and air-bladders, and with conceptacles sometimes with divided oogonia. Plants of ecad *muscoides* differed mainly by their erect growth, filiform axes, and very scarce receptacles. Newton (1931) recognized as many as eight varieties of *Fucus vesiculosus* besides the typical variety. One of these varieties was Cotton's var. *muscoides*, which formed dense mossy carpets and was known from Clare Island on the west coast of Ireland.

**Relation to *Fucus vesiculosus* L.**

From their studies of populations of *Fucus* growing in salt marshes on the northwestern coast of Spain, Niell *et al.* (1980) concluded that there was no reason to maintain as different species *Fucus muscoides*, *F. balticus*, and *F. lutarius* (Chauvin ex Kickx)[2] Kütz., another reduced form living in salt-marshes. By carrying out some morphological measurements they considered all such entities to be related by a gradual variation of characters and chose to include them within a megaecad *limicola* of the single species *F. vesiculosus*. These workers, however, did not take into account niche differences, such as location in the littoral zone and the corresponding duration of emersion, and other ecological features, such as occurrence on rocky or on moveable substrate, living in brackish conditions or in normal salinity, and degree of exposure to waves or completely protected. We are convinced that *Fucus muscoides sensu* Feldmann *et* Magne is distinguishable from *F. vesiculosus* on the basis of the former taxon occurring in protected brackish habitats at the uppermost supralittoral zone, forming dense mossy stands, or swards, with thalli of erect stature, dwarf (usually only 2-3cm tall, at times 5-6cm tall), having terete to somewhat compressed axes less 1-3mm wide, and almost invariably sterile. Figure 1 presents habit drawings of thalli of *F. muscoides* collected in the Orkneys, Scotland. In contrast, on the French Atlantic coast *Fucus vesiculosus* is a species characteristic of the midlittoral

---

2 In his exsiccatae "Algues de Normandie", Chauvin distributed as No. 174 "*Fucus vesiculosus* var. *lutarius* nob.", but he did not validate this, even though he has been credited with it. Kickx (1856) validated *Fucus vesiculosus* [var.] *lutarius*, and Kützing (1860) treated this taxon at the species level.

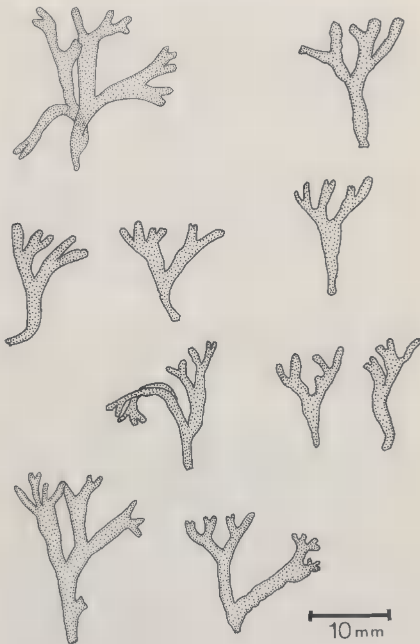



Fig. 1 *Fucus cottonii* Wynne *et* Magne [= *F. muscoides sensu* J. Feldmann *et* Magne]. Collection from Orkney Islands, Scotland. [MICH].

zone, restricted to rocky substrate, and experiencing moderate to heavy exposure to waves. Kjellman (1890) recognized *Fucus vesiculosus* [formal] *balticus*, which had no nomenclatural connection to *Fucus balticus* C. Agardh. Waern (1952, p. 167, footnote) stated that *F. vesiculosus* [var.] *balticus* Kjellm.[3] is "not to be confused with *Fucus balticus* C. Agardh, often called var. *balticus*, i.e. small loose-lying monstrosities of *Fucus vesiculosus*". Levring (1940) recognized *F. vesiculosus* on the south Swedish coast to be represented by [beta] *balticus* Kjellm., a variety containing as many as six formae in this flora. *Fucus balticus* C. Ag. (pl. 516, figs 1, b, c, & e in Palmstruch, 1816) was mainly included within f. *subecostata*, whereas a part of *F. balticus* (pl. 516, fig. d) was assigned to f. *filiformis*. Powell (1963) regarded it as nomenclaturally useful to refer to all of the submerged Baltic Sea forms of *F. vesiculosus* as f. *balticus* Kjellman.

The delineation of other species of *Fucus*, including *F. lutarius*, from *F. muscoides sensu* Feldmann *et* Magne will be detailed in the section on "Ecology" below.

**Nomenclatural proposal**

In light of the illegitimate status of the name *Fucus muscoides* of Feldmann & Magne (1964) and our conclusion that the recognition of this taxon is taxonomically defensible on both ecological and morphological grounds, the following name is proposed:

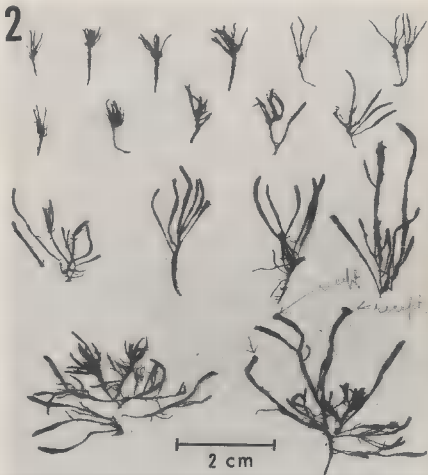
***Fucus cottonii*** Wynne *et* Magne *nomen novum*
= *Fucus muscoides* (Cotton) J. Feldmann *et* Magne, 1964, p. 16.
= *F. vesiculosus* var. *muscoides* Cotton, 1912, p. 127, pl. VI, figs 1 & 2.
= *F. vesiculosus* var. *balticus sensu* Crouan & Crouan, 1867, p. 171; Crouans Alg. mar. Finist. no. 104, *non F. balticus* C. Agardh, 1814, p. 29.

The type specimen of *Fucus cottonii* is located in the British Museum (Tittley & Tyler, 1983), and it corresponds to Cotton's (1912) pl. VI, fig. 1. The type collection (Fig. 2) contains several specimens, and at least one of the specimens bears receptacles. Cotton (1912) stated that the receptacles were "very scarce", whereas we have never observed receptacles in our examination of populations from the French coast. The distributional range of *F. cottonii* is thought to include northern Spain, Atlantic France, western Ireland, England, Northern Ireland, Scotland, and Norway. Although Powell (1963) made no reference to var. *muscoides* in his treatment of speciation in the genus *Fucus*, the taxon was included in Parke & Dixon's (1976) check-list of British marine algae.

**Ecology of *Fucus cottonii***

*Fucus cottonii* appears to be restricted to tidal marsh coasts of western Europe and occupies a quite characteristic habitat. It is this particular ecological trait that supports its distinction from other Fuci inhabiting salt-marshes. On the Atlantic coast *F. cottonii* occurs in protected salt-marsh ha-

[3] It should be pointed out that this name is pre-empted by the prior existence of *F. vesiculosus* var. *balticus* (C. Agardh) J. Agardh (J. Agardh, 1848).




CLARE ISLAND SURVEY.

MARINE ALGAE.

*Fucus vesiculosus var muscoides*
Achill Sound, May 1911
photographed & illustrated in Report

Coll. and determ. A. D. COTTON, 1909—1911.

Fig. 2 - *Fucus vesiculosus* var. *muscoides* Cotton [= *Fucus cottonii* Wynne *et* Magne]. Type collection from Clare Island, Ireland. [in K-BM].

bitats under brackish conditions. Cotton (1912) depicted this taxon to form thick swards with scattered plants of the angiosperm *Statice maritima*. In western Ireland, de Valéra & Cook (1979) observed *Fucus cottonii* (as *F. vesiculosus* var. *muscoides*) to be a frequent inhabitant of certain shallow depressions in the close sward, accompanied by salt-marsh angiosperms. In the same area it could be found growing in an area of seawater seepage (de Valéra *et al.*, 1979). From the west coast of Norway, Jorde (1966) reported the occurrence of small populations of a dwarf fucoid, the individuals of which were attached by their bases in the ground of saline meadows, forming a dense moss-like cover on the muddy bottom in association with several phanerogams. On the basis of specimens from Lønninghaven we have identified *F. cottonii* from the west coast of Norway. Jorde felt that the dwarf fucoids she observed corresponded well with fucoids occurring in the Baltic, but she admitted that the Baltic fucoids were entirely detached and were submerged. It is our view that *F. cottonii* is distinguishable from the Baltic fucoids because of the upright growth of its erect fronds, its attached or embedded habit, and its supralittoral habitat.

On the Brittany coast of France, Feldmann & Magne (1964) stated that it occurs on salty soil at the uppermost tidal level along with the angiosperms *Juncus maritimus* and *Armeria maritima*. Figure 3 presents the vertical

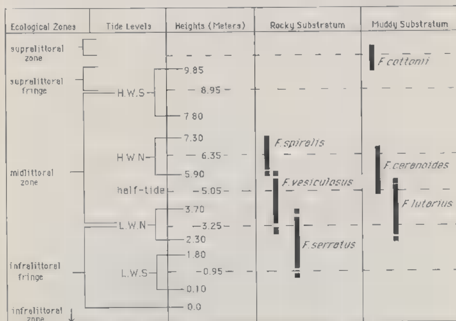



Fig. 3 - Vertical distribution of species of *Fucus* in the vicinity of Roscoff (Finistère), France. The species of the "Rocky Substratum" are restricted to moderate exposure.

distribution of the different species of *Fucus* occurring in the vicinity of Roscoff, Finistère, France. The parameters and terms are derived from de Beauchamp (1914) and Stephenson & Stephenson (1949). Figure 3 is based upon a teaching document for use in the courses at the Biological Station of Roscoff: it originated with J. Feldmann and was modified by L. and J. Cabioch, and we have made additional alterations. The discrete ecological habitat of *F. cottonii* is demonstrated. *Fucus cottonii* is always an attached species, occurring on gravel and mud, thus moveable substratum rather than rocky/firm substratum. It is the highest-occurring species of *Fucus* in this habitat, located at the interface between the highest supralittoral zone and the subterrestrial zone, being emersed between 93 and 100% of the time on a daily basis. On the Finistère coast its cohorts include the angiosperms *Salicornia* and *Juncus*, the xanthophyte *Vaucheria*, and the cyanobacterium *Microcoleus*.

*Fucus ceranoides* Linn. is a brackish-water species, occurring on muddy substratum but occupying the mid- to lower littoral zone. It typically occurs attached by a disc to stones in the middle of channels draining the saltmarsh and thus tolerant to fresh-water during periods of low tide and to normal salinity during high tide. Powell (1963) characterized it as a species found in estuaries of rivers and streams. *Fucus ceranoides* can also be distinguished by its forked receptacles often being located at the bases of the plants (Hamel, 1931-1939).

The vertical range of *Fucus lutarius* (Chauvin ex Kickx) Kütz. has some overlap with that of *F. ceranoides*, although that of the former species extends relatively lower (Fig. 3). *Fucus lutarius* differs from both *F. cottonii* and *F. ceranoides* by its fronds always being free on the surface of the mud and by occurring under conditions of normal salinity. Davy de Virville (1944) distinguished *F. lutarius* from *F. vesiculosus* by the almost complete absence of vesicles in *F. lutarius*. In the very rare instance of vesicles being present, *F. lutarius* can still be distinguished by its narrow, spiralled fronds (vs. wide, flat fronds of *F. vesiculosus*) and the fact that the fronds of *F. lutarius* are not attached by a disc but embedded at the base in the mud.

Three other species of *Fucus* that can be found on the French coast are *F. spiralis* Linn., *F. vesiculosus*, and *F. serratus* Linn., all of which are species characteristic of rocky substrate rather than moveable substrate. The sequence of their vertical distribution conforms closely to that as documented for these same species in the British Isles (Lewis, 1964; Norton, 1985). Of these three, *F. spiralis* occurs relatively higher in the midlittoral zone, occupying the upper littoral, along with cohorts *Pelvetia canaliculata*, *Porphyra umbilicalis*, and *Lichina pygmaea*; but its usual zone is at a lower position relative to that of *F. cottonii*. *Fucus spiralis* f. *nanus* (Stackh.) Kjellm. can grow up to 5m above high-water mark and in high-level pools and becomes dwarfed with increased exposure (Irvine, 1982), possibly resembling *F. cottonii* in stature, but this former species occurs on exposed coasts (Børgesen, 1903; Irvine *et al.*, 1972).

One other reduced form, *Fucus chalonii* J. Feldm., occurs on the Atlantic coast of France. *F. chalonii* is known from a very limited range on the

Basque coast (Feldmann, 1941). While the species was recognized by Davy de Virville (1944), he pointed out that it may merely be an exposed-coast ecotype of *F. vesiculosus*. Powell (1963) regarded *F. chalonii* as falling within the form-range of *F. vesiculosus* f. *linearis* (Hudson) Powell. Although the typical variety of *F. chalonii* has a height of 15cm, its var. *minimus* J. Feldm. is only 1cm tall, thus in the height range of *F. cottonii*. But there is no reason to suspect that *F. cottonii* can be confused with *F. chalonii* var. *minimus*. since this latter variety lives in very exposed situations and is abundantly fertile (Feldmann, 1941).

**Specimens of *Fucus cottonii* examined:**

FRANCE: Terrénès, Finistère: 4.iv.1957, *J. Feldmann 9368* (Feldmann Hb. in PC); 22.vii.1954, *J. Feldmann 9041* (Feldmann Hb. in PC); 1.iii.1967, *J. Feldmann 11385* (Feldmann Hb. in PC); 19.iii.1977, *J. Cabioch* (Hb. Cabioch, Roscoff). St. Pabu, Aber Benoit: 16.vii.1954, *J. Feldmann 9037* (Feldmann Hb. in PC); 2.iv.1957, *F. Magne 502* (Magne Herb., Paris); 15.iii.1963, *A. Dizerbo* (MICH). Le Faou: 28.viii.1957, *F. Magne 553* (Magne Hb., Paris). Rive de la Penfeld, Kervallon: *Cr. Alg. mar. Finist. 105* (PC; MICH). Le Loch de Crozon, Brest: 25.viii.1975, *G. Boalch 68* (Hb. Plymouth Laboratory; and = *Magne 2376* in Magne Hb., Paris).

ENGLAND: Isle of Wight, Bonchurch: 1810, Hb. G. Fleming (BM).

SCOTLAND: Argyll, Isle of Mull, Ann Leth-onn: 20.v.1967, *B.M. Mull Survey 1569* (BM); 21.viii.1966, *I. Tittley 514* (BM). Shetland Islands, Ballia Sound: 28.viii.1952, *R. Dennis* (KEW in BM). The Orkneys, Bay of Ireland, the Bush: 1.ix.1977, *J. Cabioch* (Hb. Cabioch, Roscoff; MICH).

NORTHERN IRELAND: County Down, Carlingford Lough, Mill Bay: 1.iv.1981, *O. Morton* (BM); Head of Dundrum Bay: IV.1902, *C. Waddell* (KEW in BM).

IRELAND: County Galway, Carraroe: 16.viii.1958, *J. Feldmann 9902* (Feldmann Hb. in PC); 16.viii.1958, *Y. Chamberlain 756* (BM). County Clare, Finavarra: 28.ii.1958, *F. Magne 2476* (Magne Hb., Paris). County Mayo, Clare Island District, Achill Sound: v.1911, *A.D. Cotton* (KEW in BM); Clare Island District, Bellacragher Bay: iii.1931, *L. Praegar* (KEW in BM).

NORWAY: Hordaland, Lønninghavn: 19.ix.1964, *J. Rueness* (Oslo Univ. Hb.).

## ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Dr. Jacqueline Cabioch for providing helpful ecological information. We are grateful to Mr. Stuart Honey (BM) and Dr. Françoise Ardré (PC) for helping us locate specimens and to Dr. Jan Rueness, Oslo, for the loan of a collection. Mrs. Doris Sinkora kindly confirmed the presence of *Fucus balticus* in MEL.

## BIBLIOGRAPHY

AGARDH C.A., 1814 - *Algarum decas tertia*. Pp. 29-40. Berlingiana, Londoni.

AGARDH C.A., 1817 - *Synopsis algarum scandinaviae.* xl + 135p. Berlingiana, Lundae.

AGARDH J.G., 1848 - *Species genera et ordines algarum...* Vol. 1, Gleerup, Lund, viii + 363p.

BAKER S.M. & BOHLING M.H., 1916 - On the brown seaweeds of the saltmarsh. II. Their systematic relationships, morphology, and ecology. *J. Linn. Soc. London, Bot.* 43: 325-380, pls. 28-30.

BATTERS E.A.L., 1890 - A list of the marine algae of Berwick-on-Tweed. *Hist. Berwicksh. Nat. Club* 12: 221-392. [reprinted 1-172].

BEAUCHAMP P. de, 1914 - Les grèves de Roscoff. 270p., 36 pls., 1 map. Lhomme, ed. Paris.

BØRGESEN F., 1903 ["1902"] - The marine algae of the Faeröes. *Botany of the Faeröes* 2: 339-532, pl 1.

BORY DE SAINT-VINCENT J.B.G.M., 1828 - Cryptogamie. *In:* L.I. Duperrey, *Voyage autour du monde..."La coquille", pendant les années 1822, 1823, 1824 et 1825.* Histoire Naturelle, Botanique, pp. 97-200.

COTTON A.D., 1912 - Marine algae. Clare Island Survey Part 15. *Proc. R. Irish Acad.*, 31, sect. 1 (15): 1-178, 11 pls.

CROUAN P.L. & CROUAN H.M., 1867 - *Florule du Finistère.* Klincksieck, Paris.

CULLINANE J.P., 1973 - *Phycology of the South Coast of Ireland.* Cork Univ. Press, Cork.

DAVY DE VIRVILLE A., 1944 - Les *Fucus* des côtes de France. *Rev. Sci.* 82: 421-452.

De TONI G.B., 1895 - *Sylloge algarum.* Vol. III. Fucoideae. xvi + 638p. Padua.

De TONI G.B., 1897-1903 - *Sylloge algarum.* Vol. IV. Florideae i-xx + i-ixi + 1525 p. Padua.

FELDMANN J., 1941 - Sur une nouvelle espèce de *Fucus* de la côte basque: *Fucus Chalonii* nov. sp. *Bull. Soc. Bot. France* 88: 143-147.

FELDMANN J. & MAGNE F., 1964 - Additions à l'inventaire de la flore marine de Roscoff. Algues, Champignons, Lichens. Éditions de la Station Biologique de Roscoff. 28p.

GALLARDO T., GOMEZ GARRETA A., RIBERA M.A., ALVAREZ M. & CONDE F., 1985 - A preliminary checklist of Iberian benthic marine algae. Real Jardín Botánico. Madrid. 83p.

GMELIN S.G., 1768 - *Historia fucorum.* [8] + 239 + 6p., pls. IA, IB, IIA, IIB, III-XXXIII. Petropolis.

GREVILLE R.K., 1826 - *Scottish Cryptogamic Flora...* Vol. IV. MacLachlan & Stewart, Edinburgh.

HAMEL G., 1931-1939 - *Phéophycées de France.* Paris.

IRVINE D.E.G., 1982 - Seaweeds of the Faroes. 1: The flora. *Bull. Brit.Mus. Nat. Hist. (Bot.)* 10: 109-131.

IRVINE D.E.G., SMITH R.M., TITTLEY I., FLETCHER R.L. & FARNHAM W.F., 1972 - A survey of the marine algae of Lundy. *Brit. Phycol. J.* 7: 119-135.

JORDE I., 1966 - Algal associations of a coastal area south of Bergen, Norway. *Sarsia* 23: 1-52.

KICKX J., 1856 - Essai sur les variétés indigènes du *Fucus vesiculosus*. *Bull. Acad. Roy. Belgique* 23: 477-526 [reprint: 5-54].

KJELLMAN F.R., 1890 - *Handbok i Skandinaviens Hafsalgflora. I. Fucoideae.* [4] + 103p. Stockholm.

KÜTZING F.T., 1860 - *Tabulae phycologicae...* Vol. 10, 39p., 100 pls. Nordhausen.

LEVRING T., 1940 - Studien über die Algenvegetation von Blekinge, Südschweden. H. Ohlssons Buchdruckerei, Lund. vii, 178 + [1] p.

LEWIS J.R., 1964 - *The Ecology of Rocky Shores.* The English Universities Press, London, xii + 323p.

LINNAEUS C., 1753 - *Species Plantarum.* Vol. 2, pp. 561-1200. Holmiae.

NEWTON L., 1931 - *A Handbook of the British Seaweeds.* British Mus. (Nat. Hist.), London.

NIELL F.X., MIRANDA A. & PAZO J.P., 1980 - Studies on the morphology of the megaecade *limicola* of *Fucus vesiculosus* L. with taxonomical comments. *Bot. Mar.* 23: 303-307.

NORTON T.A., 1985 - The zonation of seaweeds on rocky shores. pp. 7-21. *In* MOORE, P.G. & SEED R. (Eds.), *The Ecology of Rocky Shores,* xi + [3] +467p. Columbia Univ. Press, New York.

PALMSTRUCH J.W., 1816 - *Svensk Botanik* Vol. 8 (Fasc. 1-3), pls. 505-522. Stockholm.

PARKE M. & DIXON P.S., 1976 - Check-list of the British marine algae - third revision. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 56: 527-594.

POWELL H.T., 1963 - Speciation in the genus *Fucus* L., and related genera. *In: Speciation in the Sea,* pp. 63-77, Systematics Assoc. Publ. No. 5. British Museum (Nat. Hist.), London.

SAUVAGEAU C., 1908 - Sur deux *Fucus* récoltés à Arcachon *(F. platycarpus* et *F. lutarius). Bull. Stat. Biol. Arcachon* 11: 65-224.

SOUTH G.R. & TITLEY I., 1986 - A checklist and distributional index of the benthic marine algae of the North Atlantic Ocean. Huntsman Marine Laboratory and British Museum (Natural History), St. Andrews and London. 76p.

STEPHENSON T.A. & STEPHENSON A., 1949 - The universal features of zonation between tidemarks on rocky coasts. *J. Ecol.* 36: 289-305.

SVEDELIUS N., 1901 - *Studier öfver Östersjöns Hafsalgflora.* Uppsala.

TITTLEY I. & TYLER W.J., 1983 - Type Specimens of Phaeophyta at the British Museum (Natural History). Dept. of Botany, British Mus. (Nat. Hist.), Microfiche.

TURNER D., 1808-1819 - *Fuci.* Vols. I-IV. London.

de VALÉRA M. & COOKE P.J., 1979 - Seaweed in Burren Grykes. *Irish Nat. J.* 19: 436, pls. 17 & 18.

de VALÉRA M., PYBUS C., CASLEY B. & WEBSTER A., 1979 - Littoral and benthic investigations on the west coast of Ireland, X. Marine algae of the northern shores of the Burren, Co. Clare. *Proc. R. Irish Acad.,* Sect. B, 79(21): 259-269.

WAERN M., 1952 - Rocky shore algae in the Öregrund Archipelago. *Acta Phytogeographica Suecica* 30. xvi + 298p.

# Résumés des communications présentées à la journée de travail de la SOCIETE PHYCOLOGIQUE DE FRANCE (21 décembre 1990)

A. ANDRIAMAMPANDRY (Laboratoire de Biologie Végétale Marine, Université Pierre et Marie Curie, Paris).

**Confirmation de la présence d'*Eucheuma denticulatum* (Burman F.) Collins et Hervey (Rhodophyta, Gigartinales) à Fort-Dauphin, Madagascar.**

*Eucheuma denticulatum*, plus connu sous le nom d'*E. muricatum* (Gmelin) Weber-van Bosse, a été signalé à Fort-Dauphin par Hariot (1902). Nous l'avons récolté dans la même localité, à la plage de Libanona en septembre 1983; les échantillons étaient fertiles, à tétrasporocystes épars dans le thalle. Cette espèce est abondante au niveau de l'étage infralittoral supérieur, dans les chenaux continuellement balayés par les courants, en mélange avec les espèces suivantes: *Carpopeltis affinis* (Harvey) Okamura, *Gelidiella acerosa* (Forskall) Feldmann et Hamel, *Gelidium madagascariense* Andriamampandry.

D'autres espèces d'*Eucheuma* ont été recensées des côtes du sud de Madagascar: *E. horridum* Harvey, *E. odontophorum* Boergesen, *E. platyclada* Schmitz et *E. stricta* Schmitz.

I. DAVRINCHE et J. COSSON (Laboratoire d'Algologie fondamentale et appliquée, Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 14000 Caen).

**Composition en acides gras d'espèces phytoplanctoniques obtenues en bassins de culture semi-controlés.**

Lors d'une étude expérimentale menée à la station marine de Luc-sur-mer sur une période de deux ans (1987 et 1988), des populations phytoplanctoniques naturelles ont pu être cultivées en bassins extérieurs.

Cette expérimentation, décrite dans une communication en 1989 à la Société phycologique de France, a permis d'obtenir un calendrier de succession de six espèces appartenant aux Diatomophycées. Au cours de ces efflorescences successives, chaque espèce représente de 83 à 99% de la population totale.

C'est à partir de ces cultures pratiquement monospécifiques que les teneurs en lipides et les compositions en acides gras de ces espèces ont été analysées. Les acides gras saturés sont essentiellement l'acide myristique, les acides gras monoinsaturés, l'acide palmitoléique, et les acides gras polyinsaturés, l'acide eicosapentaénoïque.

Les résultats montrent qu'il existe des différences entre les espèces appartenant à l'ordre des Pennales et celles appartenant aux Centrales: en effet, les Pennales étudiées ont des teneurs en lipides deux fois plus élevées que celles des Centrales et des proportions d'acides gras polyinsaturés à longue chaîne (C20 et C22) plus importantes.

A. GIVERNAUD-MOURADI[1], T. GIVERNAUD[2], H. MORVAN[3] et J. COSSON[2] (1. Département de Biologie, Faculté des Sciences de Kenitra (Maroc); 2. Laboratoire d'Algologie Fondamentale et Appliquée de l'Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 14000-Caen; 3. Equipe Polysaccharides pariétaux des végétaux, Université Flandres-Artois, Lille).

**L'agar de *Gelidium latifolium* (Greville) Thuret et Bornet: composition biochimique et variations saisonnières.**

Nous avons étudié la composition chimique et la rhéologie de l'agar de *Gelidium latifolium* récolté à Roscoff (Bretagne, France) et suivi les variations des teneurs et de la qualité du produit au cours d'une année.

Nous avons montré que la teneur en agar de l'algue varie au cours de l'année de 62% en décembre pour descendre à 26% en mars-avril. Le polysaccharide de cette algue possède des qualités comparables à l'agar produit par *Gelidium sesquipedale*. La force de gel est de 400g.cm$^{-2}$ en mars et atteint 800g.cm$^{-2}$ en octobre. La composition de l'agar (exprimée en % des sucres totaux) varie faiblement au cours de l'année, que ce soient les teneurs en 3.6 anhydrogalactose (43 à 49%), en galactose (37 à 42%), en résidus sulfatés (1,05 à 1,35%), 6-0 méthyl galactose (3,8 à 4,9%) ou en 2-0 méthyl, toujours en faible quantité (moins de 2%). Nous avons d'autre part noté la présence d'une petite quantité de glucose (0,83 à 3,17%). Ainsi les variations de la force de gel dans le cas de *G. latifolium* ne peuvent-elles pas être liées à des variations de la composition chimique.

En comparant entre elles les évolutions au cours de l'année de la croissance de l'algue, de la teneur en agar, et de la rhéologie du produit et en prenant en compte un certain nombre d'observations cytologiques, nous avons montré que l'agar est synthétisé pendant les périodes de faible croissance au détriment d'autres réserves hydrocarbonées accumulées auparavant dans la cellule, sans doute pour une grande part le rhodamylon, et que, à l'inverse, en période de forte croissance, l'agar, mis en place dans la paroi sous forme de longues chaînes moléculaires, peut subir une hydrolyse partielle au niveau de la paroi et faciliter ainsi l'élongation cellulaire.

C. LICHTLÉ (Laboratoire des Biomembranes et Surfaces cellulaires végétales (UA CNRS D 0311), E.N.S. 46 rue d'Ulm, 75230 Paris Cedex 05.

**Localisation immunocytochimique des antennes collectrices du PS II et du complexe PS I dans les thylacoïdes d'une Cryptophycée: *Cryptomonas rufescens*.**

L'organisation moléculaire des thylacoïdes de Cryptophycées a été étudiée à l'aide des techniques d'immunomarquage à l'or. Les Cryptophycées présentent plusieurs particularités. Le plaste est entouré par quatre membranes, et les thylacoïdes associés par paires forment des empilements réguliers. Ces algues possèdent à la fois de la chlorophylle c et de la phycoérythrine. Ces pigments se répartissent dans deux antennes collectrices indépendantes associées au photosystème II (PS II): l'une à chl a et c (LH), et l'autre à phycoérythrine (Pe) (1). Trois anticorps ont été utilisés pour localiser le complexe photosystème I (PS I) et les complexes collecteurs du PS II, leur spécificité a été contrôlée par révélation immunologique après transfert. L'anticorps anti-PS I a été préparé chez l'Epinard par B. Lagoutte (Saclay), il reconnaît une protéine de 67kDA associée aux centres PS I. L'anticorps anti-LH obtenu à partir de *C. rufescens*, réagit avec une protéine de 19kDa de l'antenne chl a/c, et l'anticorps anti-Pe a été obtenu et testé par R. MacColl (Albany, USA). Ces anticorps I ont été révélés sur coupes par un deuxième anticorps couplé à des particules d'or de 5 ou 10nm. Des contrôles ont été réalisés pour vérifier la spécificité des marquages.

Les anti-PS I et anti-LH sont disposés sur l'ensemble des membranes thylacoïdales, mais leur répartition n'est pas homogène. Les membranes externes des paires de thylacoïdes sont enrichies en PS I (57% du marquage total) par rapport aux membranes internes (43% du marquage total). A l'inverse pour le LH, ce sont

les membranes internes qui sont le plus marquées (54% du marquage total) contre 46% pour les membranes externes. Il existe donc une répartition différente des complexes PSI et LH au sein des membranes des paires de thylacoïdes. La ségrégation n'est pas aussi absolue que dans le cas des plastes à grana des algues vertes et de plantes supérieures (2), mais on peut rapprocher les membranes internes enrichies en LH des zones d'accolements granaires, tandis que les membranes externes enrichies en PS I sont comparables aux lamelles intergranaires.

Des marquages simples de la Pe ou double (anti-Pe et anti-LH) ont été réalisés sur coupes ou sur des particules obtenues en coloration négative à partir des fractions collectrices isolées (3). Ils permettent de confirmer plusieurs points:

- la localisation intrathylacoïdale de la Pe comme d'autres auteurs l'ont également montrée (4, 5, 6)

- la répartition hétérogène de la Pe au sein des thylacoïdes: 65% des particules sont associés à la face interne de la membrane thylacoïdale, et seulement 35% des particules sont libres au sein de la lumière thylacoïdale

- l'identification des petites unités portées par les vésicules obtenues en coloration négative (3), comme étant des unités de Pe, tandis que les vésicules sont des fragments de membranes thylacoïdales inversées.

L'ensemble de ces résultats confirme l'originalité de l'organisation des membranes thylacoidales des Cryptophycées.

Références
1: Lichtlé C., Jupin H., Duval J.C., 1980 - Biochim. Biophys. Acta 591,104-112.
2: Vallon O., Wollman F.A., Olive J., 1986 - Photobiochem. Photobiophys. 12, 203-220.
3: Lichtlé C., Duval J.C., Lemoine Y., 1987 - Biochim. Biophys. Acta 894: 76-90..
4: Ludwig M., Gibbs S.P., 1989 - J. Cell Biol. 108, 875-884.
5: Rhiel E., Mörschel E., Wehrmeyer W., 1987 - Eur. J. Cell. Biol. 43, 82-92.
6: Spear-Bernstein L., Miller K.R., 1989 - J. Phycol. 25, 412-419.

H. MAYHOUB[1] et C. BILLARD[2] (1. Faculté des Sciences, Université de Tichrine, Lattaquié, Syrie; 2. Laboratoire d'Algologie fondamentale et appliquée, Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 1400 Caen).

**Contribution à la connaissance d'un *Stypopodium* (Dictyotales, Phaeophyceae) installé récemment sur les côtes syriennes.**

La découverte en 1979 d'une espèce de *Stypopodium*, genre essentiellement tropical, en Syrie, est suivie de la constatation d'une extension rapide des peuplements de cette algue sur les côtes syriennes au cours des années quatre-vingts.

L'étude morphologique et anatomique permet d'attribuer l'espèce méditerranéenne à *S. zonale* (Lamouroux) Papenfuss, décrit à l'origine des Antilles mais à large répartition géographique puisque présent notamment en Mer Rouge. Tous les échantillons de cette Dictyotale observés en Syrie sont des sporophytes et les premiers stades du développement ont été obtenus en culture. Des thalles mâles ont cependant été récoltés en Lybie où l'algue a été décrite récemment sous le nom de *S. tubruqense* (Nizamuddin & Godeh, 1989), *Willdenowia* 18: 603-608.

L'algue semble inféodée aux biotopes photophiles de l'étage infralittoral et les peuplements acquièrent un maximum de densité au-delà de 3m de profondeur dans les localités de mode relativement calme. Contrairement à d'autres espèces en provenance de la Mer Rouge et installées en Méditerranée, le *S. zonale* s'est non seulement largement implanté sur les côtes syriennes mais est devenu dominant, sinon envahissant, puisqu'une quantité considérable d'épaves (plusieurs dizaines de tonnes) est rejetée en été dans certaines localités.

Vu sa compétitivité, et ses propriétés ichtyotoxiques qui ont été rappelées, *S. zonale* a donc toutes les chances dans les années futures de s'étendre sur une plus grande partie des rivages de la Méditerranée.

N. MEREAU, A. HOURMANT et M. PENOT (Laboratoire de Physiologie végétale, Faculté des Sciences, 29287 Brest Cedex).

**Action des polyamines sur la croissance d'une algue unicellulaire, *Dunaliella primolecta*, Butcher.**

On sait relativement peu de choses sur la nature des substances de croissance chez les Algues, bien qu'un assez grand nombre de travaux ait été mené, tant sur le plan des effets physiologiques que sur le plan extractif dans un contexte de référence aux hormones de végétaux supérieurs. Ceci signifie qu'il faut vraisemblablement chercher dans d'autres groupes chimiques les véritables facteurs de croissance des Algues. C'est la raison pour laquelle notre attention s'est portée vers l'étude de l'action des polyamines (PA) considérées, depuis peu, comme des substances de croissance chez les végétaux supérieurs (Galston & Kaur-Sawnhey, 1987).

Le matériel choisi a été *Dunaliella primolecta*, algue couramment utilisée en laboratoire, (Videau *et al.*, 1979), en raison du fait que c'est une algue sans paroi (Marano, 1976), laquelle représente toujours un obstacle à la pénétration de toute substance externe.

Nous avons donc expérimenté à partir d'un milieu de culture enrichi (Conway) avec 3 PA naturelles (putrescine, spermine et spermidine) et 2 PA de synthèse (le

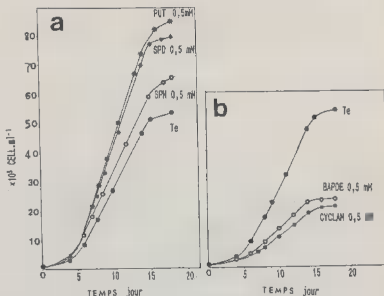



Figure 1 - Courbes de croissance de *Dunaliella primolecta:* évolution de la densité cellulaire (x$10^5$ cell.$ml^{-1}$) en fonction du temps (jours) pour des cultures réalisées à 25°C, en présence ou non de: a- polyamines naturelles (Put.O,5mM; Spd.0,5mM; Spm. 0,5mM). b- polyamines de synthèse (BAPDE 0,5mM; Cyclam 0,5mM).

BAPDE et le Cyclam*) à la fois sur la croissance et sur le métabolisme de base, susceptible de fournir l'énergie nécessaire (ATP) à la multiplication de l'algue.

Les résultats ont mis en évidence un certain nombre de faits originaux et spécifiques, à savoir:

- un effet positif des PA naturelles, sur la croissance (fig. 1A) sur la photosynthèse et sur la respiration conduisant à une élévation de la teneur en ATP;

- à l'inverse si les PA de synthèse stimulent également les métabolismes photosynthétique et respiratoire, elles exercent une action négative sur la croissance de l'algue (fig. 1B).

Ces résultats préliminaires ont été discutés (et font l'objet des travaux en cours) dans un contexte selon lequel les PA agiraient soit comme source d'azote supplémentaire liée aux produits de dégradation des PA, soit comme substances de croissance. Cette dernière assertion s'appuie sur le fait que le taux de PA endogènes (en particulier la putrescine et la spermidine) présente un pic au cours du cycle de croissance de l'algue.

Bibliographie

Galston A.W. & Kaur-Sawhney R., 1987 - Polyamines as endogenous growth regulators. In *"Plant hormones and their role in plant growth and development"* P.J. Davies ed. Martinus Nijhoff publishers. pp. 280-295.

Marano F., 1976 - Etude ultrastructurale de la division cellulaire chez *Dunaliella. J. Microscopie Biol. Cell.* 25: 279-282.

Videau Chr., Khalanski M. & Penot M., 1979 - Preliminary results concerning effects of chlorine on monospecific marine phytoplankton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 36: 111-123.

A. MOURADI-GIVERNAUD[1], T. GIVERNAUD[2] et J. COSSON[2] (1. Département de Biologie, Faculté des Sciences de Kenitra (Maroc). 2. Laboratoire d'Algologie Fondamentale et Appliquée de l'Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 14000 Caen).

**Etude de la morphogenèse en culture de l'agarophyte *Gelidium latifolium* (Greville) Thuret et Bornet**

Le fonctionnement des initiales de l'algue et l'évolution anatomique des différentes parties du thalle de *Gelidium latifolium* Thuret et Bornet ont été suivis au cours du développement en fonction de diverses conditions de culture. De plus, nous avons montré que toutes les catégories cellulaires à l'exception des rhizines sont douées d'une capacité de régénération importante. En fait, la morphogenèse de *G. latifolium* est fortement influencée par les conditions de température, d'intensité lumineuse et de photopériode; la composition spectrale de la lumière semble jouer un rôle particulièrement important.

La formation du système de fixation a été décrite sur des thalles obtenus à partir du développement de spores ou sur des boutures. Nous avons mis en évidence les conditions de culture qui déclenchent la formation d'axes rampants et de rhizoïdes, ainsi que les phénomènes de tropisme et de dominance intervenant dans leur développement. Par ailleurs, l'étude anatomique des axes rampants porteurs de rhizoïdes montre que les rhizines peuvent être absentes à ce niveau.

De cette étude, il ressort que la grande variabilité morphologique observée chez *Gelidium latifolium* se retrouve au niveau anatomique. Ainsi les critères anatomi-

* BAPDE: N, N' - bis (3-aminopropyl) diaminoéthane.
Cyclam: 1-4-8-11-tétraazacyclotétradécane).

ques utilisés pour différencier les taxons chez les Gélidiales peuvent-ils chez *G. latifolium* être modifiés par les conditions de culture ou encore varier suivant la zone d'observation sur le thalle.

J. TOQUEBOEUF[1], M. PELLEGRINI[1], G. TREMBLIN[2] et C. DONSIMONI-FILIPPI[1] (1. Laboratoire de Biologie marine fondamentale et appliquée. Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille Cedex 09. 2. Laboratoire de Biologie végétale, Faculté des Sciences, route de Laval, B.P. 535, 72017 Le Mans Cedex).

**Nouvelle approche de l'optimisation de la culture de boutures de l'algue brune *Cystoseira stricta* par modélisation.**

L'influence des paramètres physico-chimiques intervenant sur la croissance et le développement de macroalgues est généralement abordée en faisant varier un facteur à la fois. Cette approche présente le double inconvénient de nécessiter un très grand nombre d'expériences pour l'obtention de résultats susceptibles d'être entachés d'erreurs par d'éventuelles interactions de facteurs.

Pour pallier ces inconvénients, il a été utilisé une méthode rationnelle basée, d'une part, sur l'optimisation des plans d'expérimentation par le calcul matriciel et, d'autre part, sur l'établissement d'un modèle mathématique empirique des phénomènes étudiés. Cette étude représente vraisemblablement la première application des plans d'expériences à la culture des macroalgues.

L'action de l'intensité lumineuse ($x_1$ = 50 - 75- 100$\mu$moles .$m^{-2}.s^{-1}$), de la température ($x_2$ = 12- 17 - 22°C), de la concentration en nitrates ($x_3$ = 30 - 50 - 70mg $KNO_3.l^{-1}$) et de la concentration en calcium ($x_4$ = 5 - 10 - 15mM) sur la croissance pondérale, la teneur en acide alginique, la valeur du rapport M/G, la teneur en pigments (chlorophylles a, c, caroténoïdes) et l'activité photosynthétique mesurée par suivi du rejet d'oxygène (oxymétrie) sous les conditions standards (15°C, 800$\mu$moles .$m^{-2}.s^{-1}$). Cette étude a été réalisée sur 2880 boutures de 1cm prélevées à l'apex de rameaux primaires de 5 à 10cm de thalles de *Cystoseira stricta*. Ces boutures réparties en 72 lots homogènes ont été simultanément cultivées pendant 7 semaines dans les 18 modules de 3 simulateurs de marées.

Les contraintes expérimentales ont conduit, pour cette première approche, à utiliser une matrice réduite à 18 lignes et à postuler le modèle mathématique suivant:
$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 = b_{22}x_2^2 = b_3x_3 + b_4x_4 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}\,x_1x_4 + b_{34}x_3x_4$
dans lequel $b_0$ représente la réponse théorique au centre du modèle, $b_1$, $b_2$.. les effets principaux des facteurs, $b_{13}$.. les effets d'interaction du 1er ordre.

L'analyse des coefficients b statistiquement significatifs permet d'écrire les modèles mathématiques correspondant aux différentes réponses expérimentales et d'interpréter l'action des facteurs.

L'équation traduisant la croissance:

$y$ (% de croissance) $= 165 - 41\,x_1 - 57x_2 + 56\,x_1^2 - 19\,x_3 + 50x_1x_3$
montre, d'une part, que l'intensité lumineuse, la température et la concentration en nitrates ont une action prépondérante et révèle, d'autre part, une très forte interaction de la lumière et de l'enrichissement azoté. Le diagramme d'interaction de ces deux derniers facteurs fait clairement apparaître que le maximum de croissance est obtenu sous un flux lumineux de 50$\mu$moles.$m^{-2}.s^{-1}$ et une teneur en nitrates de 30mg.$l^{-1}$ (Fig. 1). L'action de la température se traduit par un meilleur rendement à 12°C (278%) qu'à 22°C (164%).

En ce qui concerne la teneur en acide alginique, l'équation du modèle devient:

$y$ (% acide alginique) $= 17 - 0{,}3\,x_1 - 1{,}8x_2 + 0{,}8x_2^2 + x_3 + 1{,}7x_1x_3$.

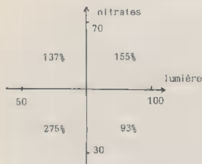



Fig. 1: Influence de l'interaction lumière-nitrates sur le pourcentage de croissance pondérale.

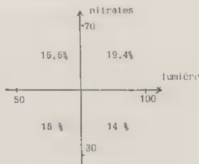



Fig. 2: Influence de l'interaction lumière-nitrates sur le pourcentage d'acide alginique.

Si le diagramme d'interaction (Fig. 2) lumière-nitrates fait apparaître un optimum de synthèse d'acide alginique sous 100$\mu$moles.$m^{-2}.s^{-1}$ et 70mg .nitrates .$l^{-1}$, il convient de remarquer qu'en tenant compte des rendements de croissance précédents une culture effectuée sous 50$\mu$moles.$m^{-2}.s^{-1}$ et 30mg .$NO_3.l^{-1}$ apparaît économique car elle assure une meilleure production d'acide alginique tout en consommant moins d'énergie, la température agissant dans le même sens que sur la croissance.

La valeur du rapport M/G et celle du pourcentage de blocs MM dépendent seulement de la teneur en calcium du milieu de culture alors que les teneurs en blocs MG et GG sont sous la double influence de la température et de la concentration en calcium.

Si la synthèse des pigments est essentiellement sous la dépendance de la lumière, les 4 facteurs étudiés ont une action importante sur l'activité photosynthétique. La production d'oxygène répond au modèle:

$$y = 280 - 51\ x_1 - 7{,}3x_2 - 53\ x_2^2 + 21\ x_3 + 51x_4 + 20x_1x_3.$$

Il traduit une très forte action de la lumière et de la température, ce qui n'est pas surprenant, mais aussi une forte interaction de la lumière et des nitrates et, surtout, une action de la concentration en calcium tout aussi importante, mais de signe opposé, que l'intensité lumineuse. L'action de ce facteur sur la photosynthèse n'avait, à notre connaissance, jamais été signalée. Il ressort de cette équation que l'optimum de l'activité photosynthétique est obtenue, dans les limites du domaine expérimental étudié, sous:

50$\mu$moles.$m^{-2}.s^{-1}$
12°C
30mg .$NO_3.l^{-1}$ et
15 mM d'ions calcium.

M. ZINOUN[1], E. DESLANDES[2] et J. COSSON[1] (1. Laboratoire d'Algologie fondamentale et appliquée, Université de Caen, 39 rue Desmoueux, 14000 Caen. 2. Institut d'études marines, Faculté des Sciences, Brest).

### Variations saisonnières de la croissance et de la composition chimique de *Calliblepharis jubata* (Gigartinale, Rhodophycée)

Parmi les carraghénophytes rencontrés sur les côtes françaises, seuls sont exploités *Chondrus crispus* Stackhouse et *Mastocarpus stellatus* (Stackhouse) Guiry pour leurs carraghénanes kappa, alors que le carraghénane iota est exclusivement extrait d'algues exotiques, donc importées en France, comme *Eucheuma spinosum* (L.)

J. Agardh et *Eucheuma denticulatum* (Burman) Collins et Hervey, d'où l'importance de la recherche de nouvelles sources de carraghénanes iota.

Dans ce but, nous avons entrepris ce travail afin de connaître les modalités de la croissance et de suivre la variation saisonnière de la teneur, de la composition chimique et des propriétés rhéologiques du phycocolloïde extrait de *Calliblepharis jubata* (Goodward et Woodward) Kützing (Gigartinales, Rhodophyllidacées), algue récoltée d'octobre 1989 à décembre 1990 au Cap Lévy (Normandie, France).

*In situ*, quelques individus apparaissent à la fin du mois de septembre avec une longueur moyenne inférieure à 4cm; la croissance maximale est observée de mars à mai et se stabilise de mai à juillet. L'algue disparaît progressivement à la fin du mois de juillet en raison sans doute des températures estivales de l'ordre de 20°C.

En ce qui concerne la teneur en carraghénane, l'évolution au cours du temps est inverse de celle de la croissance des thalles, avec une teneur minimale pendant la phase de croissance et une augmentation pendant la phase stationnaire. Les teneurs sont maximales en juin et en juillet. Ces faits montrent qu'il y aurait un antagonisme entre l'augmentation de la biomasse et la synthèse des phycocolloïdes.

La viscosité du produit varie de la même façon que la teneur en carraghénane; par contre il n'y a pas de variation significative de la structure chimique du carraghénane au cours de l'année.

# OUVRAGES REÇUS POUR ANALYSE

WENDKER, Susanne (1990) - **Untersuchungen zur subfossilen und rezenten Diatomeenflora des Schlei-Ästuars (Ostsee).** *Bibliotheca Diatomologica* 20. J. Cramer Ed. Stuttgart. 268p dont 14 Figures et 4 tableaux + 13 planches microphotographiques. Prix 130 D.M.

Dans cet ouvrage, Susanne WENDKER réalise une analyse comparée des assemblages de diatomées provenant d'échantillons récents et subfossiles de l'estuaire de la Schlei qui se jette dans la Baltique (Schleswig-Holstein Allemagne).

Après une définition des termes utilisés, périphyton ("Aufwuchs"), communauté-assemblage, espèce caractéristique, abondance et dominance, elle présente le site et les stations d'études, les méthodes d'analyses physico-chimiques et les techniques de préparation et comptage des diatomées actuelles et fossiles. Elle aborde ensuite la liste taxonomique qui comporte la description, assortie de références bibliographiques nombreuses, de près de 300 espèces et variétés.

L'étude floristique des diatomées subfossiles est réalisée à partir de 3 carottes (4, 2 et 1 m de long) de sédiment de la Schlei, avec des prélèvements effectués tous les 20 cm.

La distribution des 194 taxons inventoriés est examinée en relation avec les niveaux prospectés. Les couches inférieures à *Fragilaria brevistriata, F. construens* var. *construens* et *venter* dominants sont remplacées vers les niveaux 270-250cm par *Achnanthes fogedii, F. construens* var. *subsalina* et *F. virescens* var. *subsalina*. Dans les couches moyennes les formes épiphytes augmentent avec *Cocconeis placentula, C. pediculus, Rhoicosphenia abbreviata* et *Synedra tabulata* dominants, alors qu'à partir de 170 cm de profondeur, et dans les couches supérieures, les diatomées centriques prédominent *(C. meneghiniana C. cf. meneghiniana* et *Thalassiosira proschkinae)*. Des différences dans la composition floristique sont mises en évidence entre les 3 carottes à l'aide d'un indice de similitude et des fréquences relatives des espèces.

L'examen des diatomées actuelles a été réalisé à partir de 7 campagnes de prélèvements d'algues périphytiques sur 11 stations de la rive sud de la Schlei entre Schleswig et Olpenitz entre 1983 et 1984. L'étude des communautés prend en compte l'abondance et la fréquence des espèces; (250 taxons répartis dans 47 genres ont été inventoriés, dont 139 observés une seule fois, sur un total de 96 échantillons). Les formes dominantes sont *Achnanthes brevipes, Amphipleura rutilans, Cyclotella cf. meneghiniana, Navicula gregaria, N. hanseni, N. mutica, Nitzschia frustulum, Synedra tabulata* et *Thalassiosira proschkinae*.

L'auteur examine successivement la distribution des diatomées en fonction du gradient croissant de salinité, des fluctuations saisonnières, de l'habitat et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

La différenciation des stations à partir de la composition des communautés de diatomées est caractérisée par des variations de dominance. *Amphipleura rutilans, Nitzschia frustulum* et *Synedra tabulata* sont dominants au printemps et au début de l'été et les centriques *Cyclotella cf. meneghiniana* et *Thalassiosira proschkinae* le reste de l'année. Des analyses complémentaires ont été également réalisées sur certaines stations en vue de comparer les effets de la nature des substrats (bois, métal), de la vitesse du courant, des conditions d'éclairement et de la profondeur. Des différences accusées sont mises en évidence malgré la proximité des stations.

Les caractéristiques écologiques des 17 taxons dominants sont précisées pour divers paramètres: transparence, salinité, température, pH, conductivité, concentrations en orthophosphates et silice.

Les résultats de ces investigations font l'objet de confrontations détaillées avec ceux obtenus par Simonsen (1962) et avec d'autres études réalisées sur des sites voisins ou similaires. La comparaison des microflores récente et subfossile montre que 10 taxons seulement sont communs avec une fréquence supérieure à 5%.

Il s'agit là d'une étude bien documentée et bien illustrée (14 figures 4 tableaux et 13 planches microphotographiques de bonne qualité) qui constitue une contribution importante à l'étude des diatomées récentes et fossiles des milieux saumâtres. Les références nombreuses aux travaux antérieurs complètent utilement les connaissances sur les exigences écologiques des formes dominantes en particulier par rapport à la salinité.

Il est néanmoins possible d'exprimer quelques regrets mineurs. L'une des formes dominantes *Cyclotella cf. meneghiniana* paraît bien appartenir au spectre de variation de *Cyclotella caspia* (espèce non citée) (cf. taf. I figs: d-j). La méthode de comparaison des relevés fait appel au coefficient de similitude (formule non mentionnée) utilisé par Kempe (1988) peu connu des diatomistes, alors qu'il en existe de nombreux, adaptés aux diatomées et que les techniques modernes actuelles font plutôt appel aux analyses multivariées. Enfin sur près de 300 taxons décrits dans la liste systématique, seuls 19 d'entre eux sont représentés dans les 13 planches microphotographiques et d'autres espèces auraient sans aucun doute mérité une illustration.

Michel Coste

BURGIS M.J. & SYMOENS J.J., 1987 - **African wetlands and shallow water bodies (zones humides et lacs peu profonds d'Afrique). Directory (Répertoire).** Edit. ORSTOM, 1 vol., 650 p.

Comme l'indiquent les auteurs "ce répertoire présente sous une forme condensée le maximum d'informations possibles sur les principales caractéristiques climatiques et géomorphologiques, la structure, le fonctionnement et l'utilisation par l'homme des lacs peu profond et milieux humides d'Afrique relativement bien connues." Cartes et tableaux illustrent ce travail. Ainsi, par exemple, pour le lac Bangeweulu du Zaïre étudié par Compère & J.J. Symoens nous trouvons: géographie et morphologie, géologie, climatologie, hydrographie, physico-chimie, macrophytes, phytoplancton, zooplancton, poissons, oiseaux, activités humaines.

DAVIES B. & GASSE F., 1988 - **African wetlands and shallow water bodies (zones humides et lacs peu profonds d'Afrique). Bibliography.** Edit. ORSTOM, 1 vol., 502p.

Ce volume est le complément bibliographique du précédent. L'Afrique est divisée en 9 régions géographiques (de l'Afrique du Nord à Madagascar) et, pour chaque région, est donnée une bibliographie présentée par matière (dont un chapitre "Algues"). Je regrette que les travaux de Leboime et les miens sur les Algues d'eau douce de Madagascar soient omis. Ces deux volumes constituent un apport fondamental pour la limnologie et l'algologie africaines.

P. Bourrelly

# RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

*Cryptogamie, Algologie* publie des articles originaux ou de synthèse sur les algues. Sont acceptés les manuscrits rédigés en français ainsi qu'en allemand, anglais et espagnol. Les manuscrits, et toute correspondance, doivent être adressés au Directeur-Rédacteur de *Cryptogamie, Algologie*, Muséum National d'Histoire Naturelle, Laboratoire de Cryptogamie, 12 rue Buffon, 75005 Paris, France. Chaque manuscrit est soumis à deux lecteurs compétents, membres ou non du Comité de Lecture (les auteurs peuvent proposer eux-mêmes des noms de personnes susceptibles de juger la valeur de leur travail). Les avis des lecteurs sont transmis de façon anonyme à l'auteur. Si nécessaire, le manuscrit rectifié doit être ensuite retourné dans les plus brefs délais au Directeur-Rédacteur pour publication.

## LE MANUSCRIT

**Généralités** - adresser trois exemplaires: l'original et deux copies; dactylographier en double interligne, au recto exclusivement, y compris les légendes des illustrations, des tableaux, et les notes infrapaginales; numéroter chaque page à la suite, y compris la bibliographie; mettre les tableaux et les légendes des illustrations sur des pages séparées, après le texte.

**Le titre** - il doit être concis, dans la langue du manuscrit et traduit en anglais; s'il comporte un nom générique ou spécifique d'algue, indiquer la position taxinomique; ne pas indiquer le(s) nom(s) de l'auteur(s) du nom scientifique; proposer pour le haut de page un titre condensé de 50 signes au maximum; faire suivre le titre du (des)nom(s), prénom(s) et adresse(s) de(s) l'auteur(s).

**Le résumé** - donner obligatoirement un résumé en français et en anglais (utilisé dans les périodiques publiant des analyses) ainsi que dans la langue du manuscrit si nécessaire; ne pas utiliser d'abréviations; donner une liste de mots clés dans la langue de l'article.

**Le texte** - indiquer clairement le plan du texte avec, si possible, les mentions: Introduction, Matériel(s) et Méthode(s), Résultat(s), Discussion(s), Conclusion(s), Remerciement(s), Références bibliographiques; souligner les mots qui doivent être en italiques; faire suivre la première mention d'un nom de genre ou d'espèce du nom de son (ses) auteur(s); indiquer les références bibliographiques par le nom de(s) l'auteur(s) sans les initiales des prénoms (sauf si plusieurs auteurs portent le même nom) suivi de l'année de parution; utiliser " *et al.* " lorsque l'article cité est signé par plus de deux auteurs; limiter au maximum les notes infrapaginales; les signaler dans le texte par un chiffre arabe et les placer à la fin du texte; utiliser les symboles et unités conformes à la nomenclature internationale.

**Les tableaux** - les numéroter avec des chiffres romains; les dactylographier clairement sans rature ni surcharge; tracer les traits à l'encre de Chine.

**Les références bibliographiques** - les présenter à la suite du texte; indiquer les auteurs par ordre alphabétique et chronologique sans tenir compte des auteurs secondaires; pour les abréviations des périodiques se référer au : *Botanico- Periodicum-Huntianum*. Pittsburg, Pa., Hunt Botanical Library, 1968; présenter les références complètes, selon les exemples suivants:

FELDMANN J., 1952 - Les cycles de reproduction des Algues et leur rapports avec la phylogénie. *Rev. Cytol. Biol. Vég.* 13: 1-49.

CHADEFAUD M., 1960 - *Les végétaux non vasculaires. Cryptogamie. In* CHADEFAUD M. et EMBERGER L., *Traité de Botanique systématique.* Paris, Masson; Vol. 1, xv + 1018p.

WEST J.A. & HOMMERSAND M.H., 1981 - Rhodophyta: life histories. *In* LOBBAN C.S. & WYNNE M.J. (Eds.), *The Biology of Seaweeds.* Botanical Monographs Vol. 17, Oxford, Blackwell Sci. Publ., pp. 133-193.

ABDEL RAHMAN M.H., 1983 - *Recherches sur la reproduction des Acrochaetiales (Rhodophycées).* Thèse Doctorat d'Etat, Paris VI, 391p.

## LES ILLUSTRATIONS

**Généralités** - Désigner les illustrations (dessins au trait ou photographies) sous le nom de "figures"; tenir compte de la justification de la revue (11,5cm x 17,5cm); si possible, grouper les figures (dessins au trait ou photographies séparément) pour occuper la largeur de la page; numéroter les figures avec des chiffres arabes, à la suite, selon leur ordre d'apparition dans le texte; indiquer l'échelle sur chaque figure (les grandissements x... sont prohibés) et utiliser les mêmes symboles et abréviations que dans le texte; utiliser les caractères de transfert pour les chiffres, lettres et symboles; protéger chaque illustration par une feuille de papier fin; mentionner au crayon bleu clair toutes indications utiles; porter au verso de chaque illustration le(s) nom(s) de(s) auteur(s); pour leur envoi, ne pas plier les illustrations; éviter de les rouler.

**Les dessins au trait** - fournir les originaux et deux photocopies; limiter les dimensions des originaux, au maximum, au triple de celles de la justification; choisir l'épaisseur des traits et la taille des caractères en fonction de la réduction éventuelle.

**Les photographies** - fournir trois jeux de photographies : un jeu de photographies groupées en planches et montées sur carton blanc léger pour la reproduction, les deux autres montés ou non; limiter à 5mm au maximum les intervalles entre les photographies; éviter les réductions pour une meilleure qualité de reproduction; en conséquence, les dimensions des planches ne devraient pas dépasser 11,5cm x 17,5cm; pour les illustrations en couleur, demander l'accord de la Rédaction.

**CRYPTOGAMIE, Algologie** souhaite vivement que les auteurs envoient leurs textes en mode ASCII sur disquettes 3" 1/2 ou 5" 1/4 de micro-ordinateur (IBM, IBM compatible et MacIntosh). Ils doivent être **impérativement** conformes aux instructions suivantes: ne pas utiliser de codes spéciaux de mise en page ou de format (gras, italiques, centrage, etc.); ne pas couper les mots; ne pas justifier à droite; les mots (ou groupes de mots) qui doivent apparaître en italiques lors de l'impression devront être encadrés par un des caractères suivants: #, $, £; ne pas insérer de code de fin de page.

Les disquettes accompagnées d'une copie sur papier comportant le texte final corrigé selon les avis du Comité de Lecture, seront adressées à la Rédaction.

Les tirages à part sont limités à 100 exemplaires, dont 25 gratuits.



Commission paritaire 16-1-1986 - N° 60590
Dépôt légal n° 15436 - Imprimerie de Montligeon
Sortie des presses le 21 février 1991
Imprimé en France
Éditeur : A.D.A.C. (Association des Amis des Cryptogames)
Président : R. Baudoin; Secrétaire : D. Lamy
Trésorier : J. Dupont; Directeur de la publication : H. Causse

Sonrou MNZIN Paris